

# **Aula virtual sobre gases para o ensino médio de química: uso de ciclos de interação e multirrepresentação**

Emerich Michel de Sousa

Doutoramento em Ensino e Divulgação das Ciências  
Orientador: Professor Doutor João Carlos de Matos Paiva

Novembro de 2017

---



# **Aula virtual sobre gases para o ensino médio de química: uso de ciclos de interação e multirrepresentação**

Emerich Michel de Sousa

Tese submetida à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto para obtenção  
do grau de Doutor em Ensino e Divulgação das Ciências, especialização em Ensino  
das Ciências

Orientador: Professor Doutor João Carlos de Matos Paiva

Novembro de 2017



*Para o professor, qualquer vislumbre de melhoria do aluno é motivo de satisfação. Para o pesquisador, os dados têm que ser validados e apresentar significado.*



## AGRADECIMENTOS

A todos os que, de alguma forma, confiaram, apoiaram, participaram e torceram pelo sucesso desta caminhada. Não há como nomear todos, mas alguns também não poderiam deixar de ser citados.

Aos Professores João Paiva e Carla Morais, que tão bem me receberam em Portugal, orientaram e foram generosos em repartir seus conhecimentos.

A todos os Professores das disciplinas cursadas na parte curricular do Doutorado, pelo compromisso e disponibilidade.

Ao Professor Duarte Costa Pereira, pela atenção dispensada, sempre que solicitado.

A Gil Nata, pela ajuda inestimável nos domínios da Estatística.

Aos colegas Suzana, Marta, Natália, Ana Laranja, Carolina, Manuela, Francisco e Janeide, que tornaram a jornada mais agradável.

Aos amigos brasileiros em Portugal, Daniel e Lourdes, Carlos e Tatiana, Júlia, Carol e Arthur, André e Valquíria, Phillippe e Isabella, Ângela, Sandra, Marco Adriano, Gabrielle, Guilherme, Álvaro e Letícia, Revailton e Dayane, companhias preciosas que tornaram a estadia em Portugal muito especial.

Aos colegas do CAp-Coluni (Colégio de Aplicação da Universidade Federal de Viçosa), pelo apoio e incentivo.

Aos alunos do CAp-Coluni, pela participação entusiasmada como voluntários.

À Universidade Federal de Viçosa e ao CAp-Coluni, pelo apoio institucional.

Aos amigos e familiares, que acompanharam todos os passos e se mostraram sempre disponíveis para colaborar.

À minha mãe Margarida, meu pai Vicente Ivam (*in memoriam*) e minha sogra Vera Lúcia, que sempre apoiaram.

À minha esposa Pollyana e filhos Bruno e Ana Lúcia, por terem acreditado e confiado em uma mudança tão radical em nossas vidas. Que a companhia de vocês continue sempre como um porto seguro.

A todos, a minha gratidão!





## RESUMO

Objetivou-se a elaboração de aula virtual de química, referente ao tópico de gases reais, para o nível de ensino médio, potencialmente significativa para o aluno e que fizesse uso de ciclos de interações e multirrepresentação. Os ciclos de interação incluíram perguntas de iniciação, transições entre o mundo dos objetos e eventos e o mundo das teorias e modelos, relações entre diferentes referentes, operações de discutir/explicar/generalizar e diversas intenções do material. A multirrepresentação foi usada para favorecer a abstração, complementar informação, refinar o entendimento, favorecer o uso com poder argumentativo e coordenar diferentes registros semióticos.

O estudo pode ser caracterizado como QUANT-qual, uma abordagem mista, mas com preponderância quantitativa, e classificado como quasi-experimental. A amostra foi constituída por 153 alunos que cursavam a segunda série do ensino médio em uma escola pública do Brasil. Utilizaram-se pré-teste e pós-teste idênticos, com questões abertas, validados por especialistas. Os alunos foram divididos em quatro grupos e cada grupo interagiu com um tipo de aula virtual (tradicional, contendo ciclos de interação, contendo multirrepresentação e os dois recursos simultaneamente). A informação levantada nos testes foi analisada de acordo com guia validado. Os dados revelaram-se com distribuição não-normal, o que justificou o uso de testes não-paramétricos.

Os grupos que tiveram contacto com as inovações apresentaram magnitude de efeito maior para a variável pontuação de produção de texto do que o grupo sem inovações. Na análise qualitativa, observou-se aumento do número de alunos que utilizaram adequadamente a multirrepresentação, com aumento da qualidade das representações e o uso para funções de promover abstração, viabilizar generalização e relacionar as representações, muitas vezes com características argumentativas.

O estudo, apesar de limitações como tamanho da amostra, pré-testes e pós-testes idênticos e aplicados muito próximos, ausência de uma equipa de multimídia para suporte e enfoque em uma pequena parte do conteúdo da química, deixa um fundamento animador quanto às inovações didáticas empreendidas. O entendimento de algumas relações na construção do discurso no ensino de química poderá contribuir, em futuros estudos, para a ampliação da investigação a outros conteúdos de química, outras ciências, outros níveis de escolaridade e divulgação das ciências.

## PALAVRAS-CHAVE

Ensino-aprendizagem de Química; Estudo dos gases; Aprendizagem significativa; Semiótica; Ciclos de interação; Multirrepresentação.



## **ABSTRACT**

The aim was to develop virtual lesson for chemistry, referring to the topic of real gases at the secondary level, potentially meaningful for the student and to make use of cycles of interactions and multirepresentation. Interaction cycles included initiation questions, transitions between the world of objects and events and the world of theories and models, relationships between different referents, discuss/explain/generalize operations and diversifications of material intentions. Multirepresentation was used to favor abstraction, complement information, refine understanding, favor use with argumentative power, and coordinate different semiotic records.

The study can be characterized as QUANT-qual, a mixed approach but with quantitative preponderance, and classified as quasi-experimental. The sample consisted of 153 students who attended the second grade of high school in a public school in Brazil. They used identical pre-test and post-test, with open questions, validated by experts. Students were divided into four groups and each group interacted with a type of virtual lesson (traditional, containing interaction cycles, containing multirepresentation and the two resources simultaneously). The information collected in the tests was analyzed according to a validated guide. The data revealed a non-normal distribution, which justified the use of non-parametric tests.

The groups that had contact with the innovations had a greater magnitude of effect for the variable of text production score than the group without innovations. In the qualitative analysis, we observed an increase in the number of students who used the multirepresentation adequately with an increase in the quality of the representations and the use of functions to promote abstraction, to make generalization and to relate the representations, often with argumentative characteristics.

The study, despite limitations such as sample size, pre-tests and post-tests identical and applied very closely, absence of a multimedia team to support and focus on a small part of the content of the chemistry, leaves an encouraging foundation for the didactic innovations undertaken. The understanding of some relations in the construction of discourse in the teaching of chemistry may contribute, in future studies, to the expansion of the investigation to other contents of chemistry, other sciences, other levels of education and dissemination of sciences.

## **KEYWORDS**

Teaching and learning of Chemistry; Gas study; Meaningful learning; Semiotics; Interaction cycles; Multirepresentation.



## PUBLICAÇÕES

Sousa, E. & Paiva, J. (2017). Virtual gas lessons for medium chemistry: use of interaction cycles and multi-representation. *Conference proceedings*. International Conference New Perspectives in Science Education. 6<sup>th</sup> Edition. Florence, Italy.

Sousa, E. & Paiva, J. (2017). Aulas virtuais sobre gases para o ensino médio de química: uso de ciclos de interação e multirrepresentação. *Resumos Digitais das Comunicações do III Encontro em Ensino e Divulgação das Ciências*. Universidade do Porto.

Sousa, E. & Paiva, J. (2016). Aulas virtuais sobre gases para o ensino médio de química: uso de ciclos de interação e signos multirrepresentados. *Livro de Resumos do Encontro Internacional A Voz dos Professores de Ciências e Tecnologia (VPCT 2016)*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.



# ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	vii
<b>RESUMO</b> .....	ix
<b>PALAVRAS-CHAVE</b> .....	ix
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>KEYWORDS</b> .....	xi
<b>PUBLICAÇÕES</b> .....	xiii
<b>ÍNDICE</b> .....	xv
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xix
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> .....	xxi
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	xxiii

## **CAPÍTULO I**

<b>CONTEXTUALIZAÇÃO E APRESENTAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO</b> .....	1
1.1 Contextualização da investigação.....	2
1.2 Problema de investigação.....	4
1.3 Hipótese de investigação.....	5
1.4 Objetivos de investigação.....	6
1.5 Organização e estrutura da tese.....	7

## **CAPÍTULO II**

<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	9
2.1 As tecnologias educativas no ensino da química.....	10
2.2 Aprendizagem significativa, discurso científico e multirrepresentação.....	22

## **CAPÍTULO III**

<b>DESCRIÇÃO DO MATERIAL DIGITAL DE APRENDIZAGEM</b> .....	47
3.1 Escolha do assunto.....	48
3.2 Usabilidade.....	51
3.3 Recursos multimídia.....	53
3.3.1 Definições e informações.....	53

3.3.2 Tela Apresentação.....	57
3.3.3 Tela Gases Reais.....	58
3.3.4 Tela Desvios de comportamento.....	61
3.3.5 Tela Fator de compressibilidade.....	63
3.3.6 Tela Equação de van der Waals.....	66
3.3.7 Tela Referências bibliográficas.....	68

## **CAPÍTULO IV**

<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>69</b>
4.1 Caracterização do estudo.....	70
4.2 Amostra.....	72
4.3 Descrição das estratégias de intervenção.....	73
4.4 Técnicas e instrumentos de recolha de dados.....	76
4.4.1 A elaboração do questionário.....	77
4.4.2 O guia de correção do questionário.....	80
4.4.2.1 Subcategoria um: pontuação de produção de texto (PPT).....	81
4.4.2.2 Subcategoria dois: pontuação dos modos de representação (PMR).....	82
4.4.2.3 Subcategoria três: pontuação média de incorporação (PMI).....	82
4.4.2.4 Índice de incorporação (II).....	83
4.5 Recolha de dados.....	83
4.6 Tratamento dos dados.....	86

## **CAPÍTULO V**

<b>APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>89</b>
5.1 Identificação e operacionalização de ciclos de interação.....	90
5.2 Identificação e operacionalização de multirrepresentação.....	94
5.3 Identificação e operacionalização de ciclos de interação e multirrepresentação, simultaneamente.....	99
5.4 Análise comparativa da evolução dos alunos dos grupos de investigação relativamente à aquisição de conceitos.....	103
5.5 Análise comparativa da evolução dos alunos dos grupos de investigação relativamente ao desenvolvimento de habilidade representacional.....	117
5.6 Análise da evolução formativa dos alunos.....	123



5.7 Análise qualitativa das respostas.....	131
--	-----

## **CAPÍTULO VI**

<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>133</b>
----------------------------------	------------

6.1 Conclusões.....	134
---------------------	-----

6.2 Limitações do estudo.....	137
-------------------------------	-----

6.3 Sugestões para investigações futuras.....	138
---	-----

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>141</b>
--	------------

<b>ANEXOS.....</b>	<b>151</b>
--------------------	------------

ANEXO A: Solicitação de autorização de investigação ao CAP-Coluni.....	152
--	-----

ANEXO B: Termo de consentimento livre e esclarecido (aluno com maioria).....	153
--	-----

ANEXO C: Termo de assentimento.....	154
-------------------------------------	-----

ANEXO D: Termo de consentimento livre e esclarecido (responsável).....	155
--	-----

ANEXO E: Avaliação utilizada no pré-teste e pós-teste.....	156
--	-----

ANEXO F: Guia de avaliação original em inglês.....	158
--	-----

ANEXO G: Guia adaptado para coleta dos resultados da correção do pré-teste e pós-teste .....	159
---	-----

ANEXO H: Tabela de correlação $r_{\text{Spearman}}$ .....	160
---	-----

ANEXO I: Regressão linear.....	161
--------------------------------	-----



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Fachada do prédio do CAp-Coluni (fonte: <i>síte</i> do colégio).....	2
Figura 1.2 Tela do PVANet ( <a href="http://www.ufv.br">www.ufv.br</a> ).....	4
Figura 2.1 Fatores que influenciam o sucesso das inovações tecnológicas nas salas de aula, adaptado de Zhao <i>et al.</i> (2002).....	20
Figura 2.2 Fatores que influenciam o sucesso das inovações tecnológicas nas salas de aula, adaptado de Groff e Mouza (2008).....	21
Figura 2.3 Possibilidades de aprendizagem em relação aos tipos de estratégia de instrução e processos de aprendizagem.....	24
Figura 2.4 Tipos de aprendizagem e estágios de consciência metacognitiva.....	28
Figura 2.5 Estrutura analítica para investigar interação professor-alunos na construção do significado em aulas de ciências na escola secundária.....	29
Figura 2.6 Possibilidades de conexões de ideias entre professores e alunos durante as interações de criação de significados em sala de aula.....	33
Figura 2.7 Funções exercidas pelas multirrepresentações no processo de aprendizagem...	37
Figura 2.8 Hipótese de aprendizagem com coordenação de dois registros.....	41
Figura 2.9 Níveis de competência representacional.....	43
Figura 2.10 Ilustração dos cinco níveis de competência representacional, a partir de Shehab e BouJaoude, 2017, p. 800.....	44
Figura 3.1 Classificação do material quanto às possibilidades de aprendizagem em relação aos tipos de estratégia de instrução e processos de aprendizagem.....	54
Figura 3.2 Tela de apresentação do material digital de aprendizagem.....	57
Figura 3.3 Tela Gases Reais / Introdução.....	59
Figura 3.4 Tela Gases Reais / Teoria cinético-molecular.....	60
Figura 3.5 Tela Desvios de comportamento / Exemplos de volumes molares.....	62
Figura 3.6 Tela Desvios de comportamento / Efeito da temperatura.....	62
Figura 3.7 Tela Desvios de comportamento / Efeito da pressão.....	63
Figura 3.8 Tela Fator de compressibilidade / Relação PV/RT e comparação entre gases.....	64
Figura 3.9 Tela Fator de compressibilidade / Comportamento do gás a diferentes temperaturas.....	65
Figura 3.10 Tela Fator de compressibilidade / Formalização do conceito.....	65
Figura 3.11 Tela Equação de van der Waals / Apresentação da fórmula.....	66
Figura 3.12 Tela Equação de van der Waals / Explicação das alterações nos termos pressão e volume.....	67
Figura 3.13 Tela Equação de van der Waals / Exemplos de valores das constantes a e b para alguns gases.....	67

Figura 3.14 Tela Referências bibliográficas.....	68
Figura 4.1 Contínuo qualitativo-quantitativo e possibilidades de combinações de enfoques.....	71
Figura 4.2 Esquema de experimento e variáveis.....	74
Figura 4.3 Diagrama correspondente ao <i>design</i> com pré-teste e pós-teste.....	75
Figura 4.4 Simbologia utilizada em <i>designs</i> experimentais e quasi-experimentais.....	75
Figura 4.5 Simbologia utilizada para mostrar diferença no tempo.....	76
Figura 4.6: Guia utilizado por McDermott e Hand (2013), traduzido.....	84
Figura 5.1 Recurso de interação / Iniciações de produto.....	90
Figura 5.2 Recurso de interação / Delimitação de diferença com os pressupostos da teoria cinético-molecular.....	91
Figura 5.3 Recurso de interação / Uso de referente específico como elo entre diferentes modelagens.....	92
Figura 5.4 Recurso de interação / Conexões entre ideias para potencializar a criação de significados.....	92
Figura 5.5 Recurso de interação / Conexões entre ideias para apoiar a construção do conhecimento.....	93
Figura 5.6 Recurso de interação / Aplicação de ideias científicas e expansão de seu uso.....	94
Figura 5.7 Multirrepresentação com a finalidade de promover a abstração.....	95
Figura 5.8 Multirrepresentação com a função de complementação.....	95
Figura 5.9 Multirrepresentação com função de restrição.....	96
Figura 5.10 Multirrepresentação com função de aprofundar o entendimento.....	97
Figura 5.11 Multirrepresentação com função de complementação.....	97
Figura 5.12 Multirrepresentação com atividades de tratamento e conversão.....	98
Figura 5.13 Representação com função de viabilizar generalização.....	99
Figura 5.14 Uso de multirrepresentação e reavaliação dos pressupostos da teoria cinético-molecular.....	100
Figura 5.15 Uso da multirrepresentação para comparação entre referente específico e classe de referente com explicação adicional da diferença de comportamento.....	100
Figura 5.16 Multirrepresentação para permitir análise dos referentes em separado e agrupados, com explicação adicional dos comportamentos.....	101
Figura 5.17 Conversão de representações e ênfase no ritmo discutir/trabalhar/rever (gás hélio).....	102
Figura 5.18 Conversão de representações e ênfase no ritmo discutir/trabalhar/rever (gás dióxido de enxofre).....	102

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1 Índice de evolução formativa (IEF) para os quatro tipos de materiais digitais de aprendizagem.....	130
--	-----



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 Indicadores e tipos de aprendizagem.....	26
Tabela 2.2 Classes de abordagem comunicativa, adaptado de Mortimer e Scott (2002).....	30
Tabela 2.3 Exemplos das três atividades cognitivas fundamentais ligadas à semiose.....	39
Tabela 4.1 Algumas diferenças entre os enfoques quantitativo e qualitativo.....	70
Tabela 4.2 Esquema de aplicação dos testes e apresentação do material digital de aprendizagem.....	85
Tabela 4.3 Principais testes paramétricos e não-paramétricos.....	87
Tabela 5.1 Médias, desvios-padrão e medianas para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT) no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).....	103
Tabela 5.2 Teste de Kolmogorov-Smirnov para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT) no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).....	104
Tabela 5.3 Posto médio obtido para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT) no pré-teste (T1).....	105
Tabela 5.4 Estatística do teste de Kruskal-Wallis para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT) no pré-teste (T1).....	105
Tabela 5.5 Estatística do teste de postos com sinais de Wilcoxon para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT) no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).....	106
Tabela 5.6 Magnitude de efeito ( $r$ ) para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT) no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).....	107
Tabela 5.7 Médias, desvios-padrão e medianas para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT), material de aprendizagem 1, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).....	107
Tabela 5.8 Estatística do teste de postos com sinais de Wilcoxon para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT), material de aprendizagem 1, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).....	108
Tabela 5.9 Médias, desvios-padrão e medianas para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT), material de aprendizagem 2, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).....	109
Tabela 5.10 Estatística do teste de postos com sinais de Wilcoxon para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de	

Texto (PPT), material de aprendizagem 2, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).....	109
Tabela 5.11 Médias, desvios-padrão e medianas para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT), material de aprendizagem 3, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).....	110
Tabela 5.12 Estatística do teste de postos com sinais de Wilcoxon para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT), material de aprendizagem 3, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).....	110
Tabela 5. 13 Médias, desvios-padrão e medianas para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT), material de aprendizagem 4, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).....	111
Tabela 5. 14 Estatística do teste de postos com sinais de Wilcoxon para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT), material de aprendizagem 4, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).....	112
Tabela 5.15 Resumo da estatística do teste de postos com sinais de Wilcoxon para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT), em cada um dos quatro materiais digitais de aprendizagem, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).....	112
Tabela 5.16 Magnitude de efeito ( $r$ ) para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT), em cada um dos quatro materiais digitais de aprendizagem, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).....	113
Tabela 5.17 Teste de Kolmogorov-Smirnov para a variável Ganho de aprendizagem.....	114
Tabela 5.18 Média e desvios-padrão para a variável Ganho de aprendizagem em cada um dos materiais digitais de aprendizagem.....	114
Tabela 5.19 Teste da ANOVA para a variável Ganho de aprendizagem.....	114
Tabela 5. 20 Coeficientes de correlação de $\rho$ de Spearman entre variáveis, selecionados. ....	115
Tabela 5.21 Posto médio obtido para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT) no pós-teste (T2).....	116
Tabela 5.22 Estatística do teste de Kruskal-Wallis para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT) no pós-teste (T2).....	116
Tabela 5.23 Médias, desvios-padrão e medianas para as variáveis Pontuação dos Modos de Representação (PMR), Pontuação Média de Incorporação (PMI) e Índice de Incorporação (II) no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).....	117
Tabela 5.24 Teste de Kolmogorov-Smirnov para as variáveis Pontuação dos Modos de Representação (PMR), Pontuação Média de Incorporação (PMI) e Índice de Incorporação (II) no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).....	118
Tabela 5.25 Posto médio obtido para as variáveis Pontuação dos Modos de Representação	



(PMR), Pontuação Média de Incorporação (PMI) e Índice de Incorporação (II) no pré-teste (T1).....	118
Tabela 5.26 Estatística do teste de Kruskal-Wallis para as variáveis Pontuação dos Modos de Representação (PMR), Pontuação Média de Incorporação (PMI) e Índice de Incorporação (II) no pré-teste (T1).....	118
Tabela 5.27 Estatística do teste de postos com sinais de Wilcoxon para as variáveis Pontuação dos Modos de Representação (PMR), Pontuação Média de Incorporação (PMI) e Índice de Incorporação (II), no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).....	119
Tabela 5.28 Médias, desvios-padrão e medianas para a variável Índice de Incorporação (II), em cada um dos quatro materiais digitais de aprendizagem, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).....	120
Tabela 5.29 Estatística do teste de postos com sinais de Wilcoxon para a variável Índice de Incorporação (II), em cada um dos quatro materiais digitais de aprendizagem, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).....	120
Tabela 5.30 Magnitude de efeito para a variável Índice de Incorporação (II), em cada um dos quatro materiais digitais de aprendizagem, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).....	121
Tabela 5.31 Posto médio obtido para as variáveis Pontuação dos Modos de Representação (PMR), Pontuação Média de Incorporação (PMI) e Índice de Incorporação (II) no pós-teste (T2).....	122
Tabela 5.32 Estatística do teste de Kruskal-Wallis para as variáveis Pontuação dos Modos de Representação (PMR), Pontuação Média de Incorporação (PMI) e Índice de Incorporação (II) no pós-teste (T2).....	122
Tabela 5.33 Medidores de desempenho dos alunos, de acordo com o material digital (aulas 1, 2, 3 e 4).....	123
Tabela 5.34 Padrão de pontuação da variável Ganho de aprovação (GanhoAprov).....	124
Tabela 5.35 Padrão de pontuação da variável Incorporação do material digital (IncorpMD). .....	125
Tabela 5.36 Padrão de pontuação da variável Acréscimo de exatidão e completude (GanhoCE).....	125
Tabela 5.37 Padrão de pontuação da variável Acerto integral da questão 05 (Q5Certa).....	126
Tabela 5.38 Padrão de pontuação da variável Questão 05 invertida (Q5Invert).....	126
Tabela 5.39 Médias, desvios-padrão e medianas para as variáveis Ganho de aprovação (GanhoAprov), Incorporação do material digital (IncorpMD), Acréscimo de exatidão e completude (GanhoCE), Acerto integral da questão 05 (Q5Certa), Questão 05 invertida (Q5Invert) e Índice de evolução formativa (IEF).....	127
Tabela 5.40 Teste de Kolmogorov-Smirnov para as variáveis Ganho de aprovação (GanhoAprov), Incorporação do material digital (IncorpMD), Acréscimo de exatidão e completude (GanhoCE), Acerto integral da questão 05 (Q5Certa), Questão 05 invertida	

(Q5Invert) e Índice de evolução formativa (IEF).....	127
Tabela 5.41 Coeficientes de correlação de $\rho$ de Spearman entre as variáveis Ganho de aprovação (GanhoAprov), Incorporação do material digital (IncorpMD), Acréscimo de exatidão e completude (GanhoCE), Acerto integral da questão 05 (Q5Certa), Questão 05 invertida (Q5Invert) e Índice de evolução formativa (IEF).....	128
Tabela 5.42 Posto médio obtido para a variável Índice de evolução formativa (IEF).....	128
Tabela 5.43 Estatística do teste de Kruskal-Wallis para a variável Índice de evolução formativa (IEF).....	129
Tabela 5.44 Teste de Mann-Whitney e Teste da soma dos postos de Wilcoxon para materiais digitais 1 e 2, materiais digitais 1 e 3 e materiais digitais 1 e 4.....	131
Tabela 5.45 Uso apropriado de representações e de termos e explicações embasados no material digital de aprendizagem, em número absoluto de ocorrência, em cada um dos materiais digitais de aprendizagem, no pós-teste.....	132

## **CAPÍTULO I**

### **CONTEXTUALIZAÇÃO E APRESENTAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO**

## 1.1 Contextualização da investigação

O Colégio de Aplicação (CAp-Coluni) é um órgão da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizado em Viçosa, Minas Gerais, Brasil, e tem duas funções primordiais: formação de alunos do ensino médio e formação de licenciandos, sendo o espaço preferencial de formação de professores da UFV. Ao longo dos anos, o CAp-Coluni (Figura 1.1) demonstrou ser uma das instituições de ensino médio de destaque no país, obtendo bons resultados no Exame Nacional do Ensino Médio (Enem), segundo divulgação do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep). O CAp-Coluni obteve, de 2005 a 2015, o melhor desempenho entre as escolas públicas em um total de oito vezes.



**Figura 1.1** Fachada do prédio do CAp-Coluni (fonte: *síte do colégio*).

Os estudantes que chegam ao CAp-Coluni já possuem um desempenho diferenciado, pois são selecionados por meio de um exame. Em média, cada uma das 150

vagas oferecidas anualmente é disputada por cerca de 10 jovens, de diferentes regiões do país. Apesar dessa triagem que é feita na admissão dos alunos, existem problemas com o desempenho dos mesmos em diferentes disciplinas, ao longo das três séries. O colégio, assim como qualquer outro do Brasil, enfrenta problemas de repetência e evasão.

Apesar do bom nível dos alunos selecionados para admissão no CAp-Coluni e da existência de suporte razoável durante a permanência no colégio, observa-se dificuldade, por parte dos alunos, em acompanhar plenamente o conteúdo de algumas disciplinas. No caso da química oferecida para a segunda série do ensino médio (11.º ano do ensino fundamental), ao longo dos anos de 2012 a 2014, com sistema bimestral, o percentual de alunos com rendimento inferior a 60%, variou entre 4% e 28% (dados do autor).

Para os alunos com dificuldade na disciplina, são oferecidos horários de atendimento com o professor para a resolução de exercícios e elucidação de dúvidas e também horários com monitores e alunos da licenciatura que realizam estágio no colégio. No entanto, tais procedimentos reforçam a atitude de se fazer “mais do mesmo”, em que o aprendiz, agora individualizado, se vê confrontado com as mesmas ferramentas pedagógicas utilizadas para o coletivo, sem adequação às suas limitações e necessidades.

Outras medidas adotadas pelo colégio são a busca de apoio familiar, sendo os responsáveis pelos alunos informados das dificuldades que os mesmos enfrentam e o incentivo à formação de grupos de estudo, em que os próprios alunos trocam experiências e se ajudam mutuamente, cada um contribuindo naqueles tópicos em que apresenta maior desenvoltura.

O colégio utiliza um ambiente virtual de aprendizagem, implementado pela UFV, chamado PVANet (Figura 1.2), cujo acesso pode ser realizado via *homepage* da UFV ([www.ufv.br](http://www.ufv.br)) ou via navegador (<https://www2.cead.ufv.br/sistemas/pvanet/geral/login.php>) e é utilizado para apoiar o curso regular presencial. No PVANet, cada disciplina tem um espaço próprio, no qual o professor pode disponibilizar conteúdos nos mais variados formatos (textos para leitura e impressão, material complementar, aulas narradas, vídeos, animações, simulações, *links*, etc.) e diferentes ferramentas de interação – *e-mail*, fórum, *chat* –, além dos sistemas de avaliação e de entrega de tarefas. Não há, entretanto, um sistema formalizado de tutoria *online*, com conteúdo estruturado e criado especificamente para tal finalidade.



Figura 1.2 Tela do PVANet (www.ufv.br).

No sentido de potencializar o uso do ambiente virtual de aprendizagem, justifica-se a criação de material específico para o uso neste ambiente, que possa agregar valores à formação dos alunos do colégio, estender o contacto com o conteúdo de química para além do horário de aula e servir de referência para licenciandos em experiência de prática escolar.

## 1.2 Problema de investigação

A problemática orientadora inerente a esta investigação é a escassez de material digital de aprendizagem de química disponibilizado no ambiente virtual de aprendizagem (PVANet) utilizado pelo colégio CAp-Coluni.

A expressão “material digital de aprendizagem” será usada de acordo com Nokelainen (2006) e significa todo o material concebido para fins educacionais, publicado em formato digital e destinado a ser acedido por computador. No presente caso, refere-se à aula virtual sobre gases reais, elaborada especificamente para a investigação.

Ciente de que a aplicação de novas tecnologias, por si só, não é capaz de mudar a

natureza peculiar do processo de ensino e aprendizagem, empenhou-se em propor e examinar recursos pedagógicos com o intuito de melhorar o aproveitamento da modalidade de ensino à distância.

Em sala de aula, o discurso científico que se instaura e se constrói é feito por um somatório de ações que envolvem as intenções do professor, as operações de descrição, explicação e generalização, a escolha de modelos apropriados e de níveis de referência, a abordagem comunicativa, os tipos de interações e as conexões entre as ideias. Como transpor esta riqueza e complexidade para um material de aprendizagem?

Por outro lado, espera-se que, durante a aprendizagem das ciências, o aluno desenvolva a sua fluência representacional e que possa não somente usar as representações para explicar relações entre propriedades e processos, mas também explicar a preferência para um tipo de representação em detrimento de outros. Como conseguir que um material de aprendizagem possa potencializar algumas competências representacionais nos alunos?

É desejável que o aluno consiga estabelecer significados novos a partir da interação entre seus conhecimentos prévios e o material de aprendizagem, e, para isso, o material deve fornecer condições para que a aprendizagem seja não arbitrária e não literal. Como utilizar estes recursos na criação de um material potencialmente significativo?

Estas foram as questões fundamentais levantadas e que motivaram o estudo.

### 1.3 Hipótese de investigação

O trabalho irá testar as seguintes hipóteses de investigação:

**Hipótese geral 1:** o uso de material digital contendo recursos de ciclos de interação e de multirrepresentação favorece a aquisição de conceitos pelos alunos que utilizam este material.

**Hipótese geral 2:** o uso de material digital contendo recursos de ciclos de interação e de multirrepresentação potencializa a capacidade representacional dos alunos que utilizam este material.

**Hipótese geral 3:** o uso de material digital contendo recursos de ciclos de interação

e de multirrepresentação promove ganhos no desempenho geral dos alunos que utilizam este material.

Uma vez estabelecida as hipóteses gerais, estas podem ser traduzidas em uma hipótese operacional que é mais específica e que orientará a natureza das operações estatísticas necessárias para a análise dos dados (Hill & Hill, 1998). Nesse sentido, a proposta é:

**Hipótese operacional:** os alunos que realizam atividades com material digital contendo recursos de ciclos de interação e de multirrepresentação apresentam ganhos na aquisição de conceitos, aumento da capacidade representacional e aumento do desempenho superiores aos dos alunos envolvidos na realização de atividades com material digital, sem os mesmos recursos.

## 1.4 Objetivos de investigação

Pretende-se no âmbito deste trabalho de investigação:

- (i) Descrever o uso de ciclos de interação em material digital de aprendizagem e estabelecer as possibilidades e situações de uso;
- (ii) Descrever o uso de multirrepresentação em material digital de aprendizagem e estabelecer as possibilidades e situações de uso;
- (iii) Avaliar se a utilização do material digital “Gases reais”, com a incorporação destes recursos, proporciona aos alunos um contexto de aprendizagem que favoreça a aquisição de conceitos;
- (iv) Avaliar se a utilização do material digital “Gases reais”, com a incorporação destes recursos, proporciona aos alunos um contexto de aprendizagem que favoreça o desenvolvimento de habilidade representacional.
- (v) Avaliar se a utilização do material digital “Gases reais”, com a incorporação destes recursos, proporciona aos alunos um contexto de aprendizagem que favoreça o aumento do desempenho geral dos alunos.



## 1.5 Organização e estrutura da tese

Esta tese reúne o corpo principal do estudo, composto por 6 capítulos, as referências bibliográficas utilizadas e os anexos, um conjunto de informações adicionais relacionadas com a operacionalização do trabalho.

Qual é o conjunto de circunstâncias à volta da investigação? O capítulo I – Contextualização e apresentação da investigação – propõe-se revelar o papel do colégio que sedia a investigação. Este colégio, apesar de ter lugar de destaque entre as escolas públicas do Brasil e com importância no processo de formação de professores dentro da universidade, apresenta um problema: apesar de os alunos terem disponibilidade para usar um ambiente virtual de aprendizagem, este é subutilizado. O desafio é utilizar o grande potencial da tecnologia, aliado a recursos discursivos, a favor de uma aprendizagem que crie significados para o aluno, e não apenas a memorização de uma sucessão de conceitos e fórmulas.

O que existe de relevante sobre tecnologia na educação e o processo de ensino e aprendizagem em relação ao problema levantado? O capítulo II – Revisão de literatura – traz a fundamentação teórica da investigação. As experiências de investigadores em vários países, as maneiras diferentes de abordar o uso das tecnologias no ensino e aprendizagem, as novas tendências, tudo isto é apresentado para compor um quadro de entendimento dentro de um assunto que é muito vasto: o uso das tecnologias educativas. Além disso, discussões sobre o discurso científico, a representação semiótica e a importância do processo de criação de significados pelo aluno são abordadas neste capítulo. Conceitos importantes, que serão usados ao longo do estudo, são apresentados e esclarecidos para o leitor.

Delimitado o referencial teórico, como utilizar as ideias-chave na elaboração da aula virtual? O capítulo III – Descrição do material digital de aprendizagem – mostra a lógica utilizada na confecção das diferentes telas que compõem o material. Além de trazer várias imagens representativas do conteúdo trabalhado, procura-se fazer uma descrição dos recursos utilizados e que caracterizam a aula virtual. Assim, toda a fundamentação teórica vista no capítulo anterior ganha agora uma dinâmica própria, e pode-se acompanhar como cada conceito foi utilizado, o porquê de se utilizar uma pergunta em determinado momento, qual o motivo de se optar por um gráfico ou a importância da escolha de um exemplo em particular.

Mas toda a investigação deve seguir um método bem delineado e fundamentado! Assim, o capítulo IV – Metodologia – procura situar o estudo no contínuo quantitativo-qualitativo, apresentar algumas características relevantes da amostra estudada, especificar as operações escolhidas para testar a hipótese e como se procedeu à recolha e tratamento dos dados.

Os testes foram aplicados, e agora? O capítulo V – Apresentação e discussão dos resultados – mostra como os resultados foram interpretados no sentido de atender aos objetivos específicos do estudo. São apresentados os esforços de inclusão dos recursos de ciclos de interação e multirrepresentação e é possível ver como o material digital de aprendizagem original sofre alterações e qual a explicação para estas modificações. As comparações dos resultados de pré-teste e pós-teste são apresentadas, tanto para o ganho de aprendizagem como para a competência representacional. Por fim, é apresentada uma análise do nível representacional das respostas dos alunos contendo multirrepresentações.

A hipótese de trabalho foi aceite ou refutada? Que parte do estudo não funcionou tão bem? A investigação dará frutos? Será que o assunto foi esgotado? Um olhar retrospectivo é lançado sobre o estudo para uma síntese das conclusões da investigação e possíveis implicações, além de uma visão prospetiva, com reflexões que possam ajudar a enriquecer o questionamento na educação. Tudo isso é abordado no capítulo VI – Conclusões, implicações e sugestões para investigações futuras.

## **CAPÍTULO II**

### **REVISÃO DE LITERATURA**

## 2.1 As tecnologias educativas no ensino da química

A revisão de literatura nesta temática é relevante e muito complexa, com vastidão de fontes e ideias sobre o assunto. Assume-se, neste sentido, um estilo sintético e que aborda as principais publicações relacionadas diretamente com o assunto de investigação. O aprofundamento mais intenso, nos planos vertical e horizontal, coloca-se fora da oportunidade deste trabalho.

O potencial pedagógico oferecido pelas tecnologias da informação e da comunicação (TIC) para melhorar o ensino das ciências tem sido bem documentado. Pesquisas recentes descobriram que professores de ciências consideram o uso da tecnologia como benéfico e capacitador. No entanto, afirmam que não usam essas ferramentas regularmente. A presença de TIC nas escolas não garante o seu uso prudente e, de facto, os métodos tradicionais de ensino geralmente prevalecem mesmo na presença de salas de aula com equipamentos tecnológicos mais avançados e com professores treinados para usar essas ferramentas. O desafio central para os professores é passar das instruções tradicionais que integram computadores para a instrução que integra as TIC (Steiner & Mendelovitch, 2017).

Bidarra e Rusman (2017) destacam a grande oferta de tecnologias educacionais à disposição dos alunos: telefones celulares inteligentes (a maioria dos alunos tem um), *software* de rede (disponível gratuitamente, por exemplo: Hangouts, WhatsApp, Skype), aplicações de aprendizagem (amplamente disponíveis, por exemplo: Apple Store, Google Play) e recursos educacionais abertos (em oferta crescente, por exemplo: MOOCs, iTunes U, Khan Academy), além de outras, disponíveis, como ferramentas colaborativas (por exemplo: blogues, *wikis*, *software* de construção de conhecimento), ambientes imersivos (por exemplo: mundos virtuais), ferramentas de produção e distribuição de mídia. No entanto, mesmo que a maioria da geração de aprendizes de hoje use dispositivos digitais, aplicativos de internet e redes sociais em uma base diária, principalmente para comunicação e entretenimento, há pouco conhecimento de como usar essas ferramentas e mídia para tornar a educação científica mais significativa, eficaz e atraente.

Groff e Mouza (2008) destacam que criar ambientes de aprendizagem eficazes com tecnologia continua a ser um desafio para os professores. Apesar do tremendo impulso para que os educadores integrem a tecnologia em suas salas de aula, muitos ainda não o fizeram e se esforçam para encontrar sucesso consistente com a instrução baseada em tecnologia. Estes autores, confrontados com estatísticas que revelam que, em média, os professores

usam computadores várias vezes por semana para a preparação das aulas, mas apenas uma ou duas vezes por ano para fins de instrução, incomodam-se com o enigma: por que razão existe uma grande disparidade entre o uso profissional e o uso instrutivo dos computadores pela sala de aula? Porque é que tantos professores usam computadores para aumentar sua própria eficiência e produtividade, mas não se esforçam para encontrar aplicativos eficazes para seu uso como ferramentas de instrução?

Aqueles que usaram *software* educacional em aula com seus alunos, ou fizeram pesquisas em tecnologia educacional, sabem como os alunos tendem a percorrer rapidamente os programas e, portanto, não se beneficiam desses recursos. Quando os alunos se sentam diante de telas de computador que exibem programas educacionais, seja sozinhos ou em grupo, eles tendem a clicar no programa, a maior parte do tempo sem um caminho fixo ou a reflexão necessária que lhes permita construir e consolidar a sua aprendizagem. Os alunos, geralmente, estão extremamente interessados em recursos digitais, mas, muitas vezes, passam pelas aplicações de forma precipitada e apressada (Paiva & Costa, 2010).

É crescente a expectativa de mudanças no cenário educacional entre os diversos atores do contexto educacional, com a transformação da escola tradicional em espaços de aprendizagem, a base de uma sociedade sustentada em aprendizagem intensiva (Barbosa & Moura, 2013).

As atuais tecnologias devem ser utilizadas para inovar os processos de ensino-aprendizagem, para a promoção de ambientes inclusivos, que lucrem com as diferenças, numa abertura a uma sociedade em rede, na flexibilização de tempo e lugar e na criação de percursos flexíveis de aprendizagem, adaptados a diferentes estilos e ritmos individuais (Peres *et al.*, 2014).

Koehler e Mishra (2009) propõem que o ensino com tecnologia é uma tarefa que exige dos educadores um esforço em compreender e acolher essa complexidade que representa conceber ou estruturar criativamente o uso em contextos específicos, com finalidades específicas. O ensino efetivo com a tecnologia requer compreensão da representação dos conceitos que utilizam tecnologias, das técnicas pedagógicas que usam tecnologias de forma construtiva para ensinar o conteúdo, de como a tecnologia pode ajudar a corrigir alguns dos problemas que os alunos enfrentam e ser usada para desenvolver novas epistemologias ou fortalecer as antigas.

De acordo com Peres *et al.* (2014), o sucesso da aprendizagem mediada pela

tecnologia depende fortemente da combinação harmoniosa do uso correto das tecnologias com as pedagogias mais eficientes, permitindo a implementação de oportunidades de ensino e aprendizagem inovadoras, autênticas e diversificadas.

Camilleri e Camilleri (2017), em estudo quantitativo realizado entre 241 educadores em Malta, exploraram as atitudes e percepções dos educadores sobre a sua utilização das tecnologias de aprendizagem digital. Este estudo mostrou que os educadores estavam conscientes de que deveriam adaptar suas metodologias educacionais às realidades de hoje. Apesar de os inquiridos usarem recursos mediados digitalmente em suas lições, eles revelaram que não estavam extremamente confiantes sobre como usar certas tecnologias em suas aulas. Os autores sugerem que os professores podem exigir um desenvolvimento e treinamento profissional contínuo nesse sentido. Os educadores devem aumentar seus níveis de competência e experiência em recursos de aprendizagem digital, pois há uma oportunidade para melhorar os programas curriculares e seus resultados de aprendizagem.

Aslan e Zhu (2017) também concluem que os professores em treinamento inicial (licenciandos) precisam adquirir competência nas TIC para integrá-las em suas práticas de ensino. A partir dos dados coletados junto de 599 alunos do quarto ano de programas de treinamento de professores, das áreas temáticas da língua turca, ciências sociais, matemática elementar e ciência, concluíram haver uma relação significativa entre a integração das TIC na prática docente e o conhecimento pedagógico, os cursos relacionados com as TIC e a competência percebida em TIC. Os dados reforçam a ideia de que os programas de treinamento inicial de professores, especialmente o conhecimento pedagógico e os cursos relacionados com as TIC, têm um efeito significativo na capacitação dos futuros professores para a integração das TIC nas práticas de ensino.

Hinostroza *et al.* (2016), em estudo de caso exploratório realizado no Chile, com 12 professores do 11.º ano das áreas de línguas, matemática ou ciências, abordaram o uso das TIC dentro e fora de sala de aula. Encontraram resultados que mostram que os professores usam essas ferramentas, dentro da sala de aula, para apresentações e apoio a algumas estratégias de instrução e, fora da sala de aula, para planeamento de tarefas dos alunos com as TIC e preparação, administração e comunicação de lições. No entanto, a análise das características específicas dessas atividades mostra que, além desses objetivos aparentemente bons de uso das TIC, a qualidade das características das atividades é heterogênea, o que pode ter implicações na eficácia do uso das TIC no ensino e na aprendizagem. Com base nisso, sugerem que, para aproveitar ao máximo as oportunidades de ensino e aprendizagem associadas ao uso de ferramentas digitais na educação, é

necessário desenvolver habilidades digitais de professores e alunos, especificamente aquelas associadas à busca e seleção de informações disponíveis na internet, e desenvolvimento e apresentação de produtos de informação. Embora este grupo de professores esteja usando as TIC com bastante frequência (quantidade), especialmente fora da sala de aula, há espaço para melhorar a qualidade desse uso.

Kurt (2013), em estudo de caso na Turquia, com 60 professores de ensino fundamental, encontrou resultados que mostram que os professores usam tecnologia para fins educacionais (tarefas e avaliações) e administrativas, e o uso não educacional, como entretenimento ou pessoais. Este estudo revelou, ainda, que o uso da tecnologia pelos professores é muito limitado. Se os professores usam tecnologia para instrução, é quase sempre para apoiar seus métodos de ensino tradicionais. Nenhum dos professores indicou usar as tendências e serviços da Web 2.0, como *wikis*, blogues, partilha de multimídia, *podcasting* e redes sociais. Apenas alguns deles usaram alguns *sites* de redes sociais para fins não educacionais.

Du Plessis (2016), em estudo de caso qualitativo, na África do Sul, explorou as crenças pedagógicas e a prática de sala de aula de professores quando implementavam TIC para ensino e aprendizagem. Os professores eram alunos de pós-graduação em Educação. Os resultados sugerem que parece haver uma incompatibilidade entre as crenças admitidas pelos participantes e as crenças adotadas ao usar as TIC. Os professores-alunos participantes usaram ferramentas de TIC predominantemente em formas centradas no professor, apesar de eles acreditarem que estavam centradas no aluno. Ao mesmo tempo, isso não implica que não houvesse atividades centradas no aluno durante suas aulas. Os dados parecem sugerir que sua exposição à pedagogia centrada no professor enquanto são aprendizes na escola, bem como sua experiência universitária, poderiam ter desempenhado um papel importante na forma como ensinaram a ciência. É importante, portanto, que os professores formadores modelem a pedagogia construtivista centrada no aluno para os professores-alunos e ofereçam oportunidades para estes planearem e modelarem tal prática.

Coca (2015), em investigação motivada pelos resultados do PISA (2009), que refletiram estudantes do ensino médio na Espanha desmotivados e com baixos resultados de aprendizagem em ciência, comparou alunos do ensino secundário divididos em três grupos: metodologia tradicional, aprendizagem colaborativa e exposição com uso das TIC. A utilização das TIC, como o uso de internet, vídeos e apresentações em *powerpoint*, produziu uma mudança de motivação e os alunos conseguiam concentrar-se e entender os

conceitos básicos da termodinâmica. PISA, cuja sigla designa *Programme for International Student Assessment*, é uma grande avaliação internacional à literacia dos alunos de 15 anos, em três áreas-chave: Ciências, Matemática e Leitura, repetido a cada três anos e coordenado pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE).

Em estudo com 326 alunos do 3.º ano do bacharelado, na Índia, Fozdar (2015) obteve resultados que indicam que a experiência de ensino à distância conseguiu proporcionar acesso a uma educação científica superior a uma população diversificada de alunos em todo o país. Ressalta que as taxas de sucesso, as taxas de retenção e os desempenhos dos alunos também são importantes ferramentas de avaliação, pois são indicadores da aceitabilidade e sustentabilidade de um programa.

Cambrón e Macías (2015) entrevistaram em profundidade 12 especialistas em TIC, 12 diretores e professores responsáveis por projetos audiovisuais e sete grupos com um total de 42 alunos de escola secundária, de uma amostra intencional de sete centros pioneiros na introdução e desenvolvimento do trabalho multimídia e meios de comunicação em sala de aula, na Catalunha, Espanha. Os resultados desta pesquisa mostram que a educação multimídia hoje continua a ser uma questão pendente. Neste sentido, os especialistas e professores apontam a transversalidade como uma excelente estratégia para introdução na sala de aula. No entanto, e devido à difícil implementação da transversalidade, muitas vezes as TIC são introduzidas unicamente como um assunto.

Ekici e Pekmezci (2015), cientes de que existe uma reflexão importante sobre como usar as TIC para que suportem a aprendizagem e o ensino, conduziram uma investigação do tipo quasi-experimental (pré-testes e pós-testes com grupo de controle), na Turquia, com 44 alunos do sexto ano do ensino fundamental, e utilizaram textos narrativos com suporte das TIC para o ensino de ciências. Os textos narrativo, expositivo e argumentativo correspondem aos principais estilos de texto utilizados no ensino de ciências. Os autores observaram que o ganho de conhecimento, percepções de autoeficácia para a ciência e tecnologia e atitude em relação à ciência, do grupo experimental e de controle, são quase equivalentes antes da aplicação. Quando os resultados pós-teste são considerados, há uma diferença significativa entre os resultados pré-teste dos alunos do grupo experimental em termos das variáveis analisadas.

Steiner e Mendelovitch (2017) fizeram um estudo qualitativo, com abordagem descritiva-interpretativa, contando com entrevistas pessoais e análise de seus dados. A partir de um grupo de 50 participantes em um curso de informática para professores de ciência e tecnologia em escolas de ensino fundamental em Israel, foram selecionados 12



professores que demonstraram preferência em ensinar lições de ciências usando TIC em vez de ensino frontal tradicional. Os resultados do estudo indicaram que a percepção dos professores em ter uma atitude positiva em relação às TIC não os levou a implementar a tecnologia como uma ferramenta de ensino inteligente. As TIC tornaram o aspeto visual muito eficiente, embora não tenham sido transformadas em uma ferramenta para aprendizagem significativa. Os dados indicaram que a maioria dos professores neste estudo usava ferramentas de TIC principalmente para aspetos visuais de ensino, como atualizar demonstrações de sala de aula. A instrução tradicional persistiu e os professores, apesar da tendência alfabetizadora em computador, não sentiam necessidade de mudanças pedagógicas.

Adam e Tatnall (2017) efetuaram uma investigação qualitativa, enquadrada pela teoria do ator-rede, que envolveu estudos de caso em duas escolas especiais na Austrália, durante vários anos, por um dos autores que frequentou e observou, regularmente, aulas específicas nessas escolas. A pesquisa relatada foi realizada nessas escolas com o objetivo de investigar se as TIC poderiam ser usadas para apoiar as comunidades escolares envolvendo alunos com dificuldades de aprendizagem e se poderiam ajudar esses alunos na sua aprendizagem. O termo “dificuldades de aprendizagem” (*learning difficulties*, LD) é usado para referir a condição de um grande grupo de crianças que precisam de assistência extra com a escolaridade e que provêm de uma vasta gama de deficiências cognitivas e físicas. Esta investigação descobriu que as TIC efetivamente melhoram a atitude dos estudantes com LD em relação à aprendizagem e que os dotam com habilidades adequadas para que possam entrar na força de trabalho ou continuar com estudos adicionais através de vários caminhos. O estudo fornece evidência de que, para os estudantes com LD, uma conquista significativa em habilidades e conhecimento académico é facilitada pela adoção de TIC na sala de aula.

Zhao *et al.* (2002) destacam como é popular falar sobre a revolução tecnológica. Pode ser atraente pensar que os professores devem envolver-se em inovações que produzam mudanças dramáticas nas práticas existentes e na cultura escolar. Além disso, pode-se supor que as inovações que incluem uma ampla gama de pessoas e recursos dentro da escola seriam as mais propensas a ter o maior impacto em outros professores e na cultura escolar. No entanto, em estudo de caso, nos Estados Unidos, com 10 professores do ensino fundamental ou secundário, selecionados a partir de 118 projetos beneficiados com bolsas de apoio para o uso de tecnologia pelos professores, encontrou essas ideias como não confiáveis. As inovações que eram as mais distantes das práticas existentes dos professores e da cultura escolar eram menos propensas a ter sucesso, assim como as

inovações mais dependentes de outras pessoas e recursos. Observaram que algumas inovações altamente autónomas (ou seja, com pouca dependência de outras pessoas) ainda tiveram um impacto significativo em outros professores. Além disso, em alguns casos, o impacto de uma inovação autónoma sobre os outros foi maior do que o impacto de uma inovação projetada para influenciar os outros.

Donnelly *et al.* (2011), em estudo sobre as tentativas de integrar um recurso baseado em TIC (um laboratório virtual de química) em aula prática de professores de ciências no sistema educacional irlandês, observaram que as questões predominantes em relação ao modelo de integração das TIC pelos professores são a influência do currículo/avaliação na prática dos professores e as dificuldades associadas à eficácia percebida pelos professores no uso de tecnologia.

Almeida (2008) faz um resgate da recente história das TIC na educação do Brasil e de Portugal, partindo dos finais da década de 70 e início da década de 80 do século XX, quando Portugal e Brasil iniciaram ações governamentais para a inserção de meios informáticos na educação, até aos primeiros anos do século XXI. Uma diferença importante entre os dois países foi a inserção de disciplinas no currículo dos cursos de formação inicial de professores em Portugal, mas que no Brasil foi adotada só mais tardiamente. As práticas avançaram, superaram obstáculos, mas apesar da crescente quantidade de equipamentos colocados nas escolas, tanto no Brasil como em Portugal, a concretização das ações mostra-se aquém dos objetivos e desejos. Os computadores continuam subutilizados por distintos motivos, que dependem menos da presença da tecnologia na escola e mais de aspetos político-pedagógicos e de uma adequada formação dos educadores.

Oliveira e Tinoca (2010), em Portugal, procuraram conhecer as implicações da implementação da pedagogia do *b-learning* para o sucesso, satisfação e motivação dos alunos do terceiro ciclo do Ensino Básico. Esta pesquisa demonstrou que os alunos estão intrinsecamente motivados para a realização de tarefas *online*, sentindo-se satisfeitos com a sua execução. O grau de satisfação obtido com a utilização de plataformas de aprendizagem *online* foi positivo, assim como a experiência de utilização das mesmas. Os resultados indicam que os alunos consideram importante a combinação das duas modalidades de ensino-aprendizagem, presenciais e *online*. Todavia, a presença física do professor e a reduzida utilização das plataformas de aprendizagem *online* neste nível de ensino são fatores a considerar.

Esteves (2012), também em Portugal, em estudo com alunos do primeiro ciclo, concluiu que o recurso ao *b-learning* favoreceu a aprendizagem, promoveu o envolvimento

escolar dos alunos com dinâmicas de trabalho que favoreceram a interação entre os participantes e os conteúdos, impulsionou a construção de conhecimento e, de alguma forma, possibilitou a melhoria no desempenho escolar.

Giordan (2015) realizou um levantamento dos artigos publicados na revista brasileira *Química Nova na Escola* (QNEsc), que se integra na linha editorial da Sociedade Brasileira de Química e se propõe subsidiar o trabalho, a formação e a atualização da comunidade do ensino de química. O autor descobriu que, nos últimos dez anos, foram publicados apenas sete artigos na seção Educação em química e multimídia, o que representa cerca de um artigo a cada cinco edições do periódico. O índice está abaixo da média das demais seções, o que é um facto preocupante, se atentarmos no grande apelo que as tecnologias digitais têm tido na sociedade e, em particular, na escola. A popularização das tecnologias digitais não se repercutiu em investigações no âmbito da educação química, o que pode ser indicativo de sua pequena repercussão nas salas de aula dessa disciplina. Nesse sentido, torna-se absolutamente necessário incluir, na formação inicial e continuada de professores, projetos lastreados pelo uso de tecnologias digitais. Estudos sobre a presença dos meios digitais nos currículos de licenciatura são igualmente necessários para esclarecer o cenário atual e futuro da formação de professores de química, por onde passa, necessariamente, a inserção dessas tecnologias na educação básica. Muitas novas experiências têm sido desenvolvidas por professores e alunos, mas ainda não são comuns nas escolas, principalmente em razão de um currículo extenso, enciclopédico e diante de poucas aulas semanais.

A revolução tecnológica produziu uma geração de alunos que estão em contacto com fontes de mídia multidimensionais e interativas. Bidarra e Rusman (2017) enfatizam, por isto, a importância de que a abordagem de ensino seja suficientemente flexível e com um *design* instrucional que possa ser alterado pelo aluno de acordo com suas necessidades pessoais e contexto de aprendizagem.

Hinostroza *et al.* (2016) sugerem que, para aproveitar ao máximo as oportunidades de ensino e aprendizagem associadas ao uso de ferramentas digitais para atividades de pesquisa de comunicação e informação no contexto digital, é necessário desenvolver habilidades digitais de professores e alunos, especificamente aquelas associadas à busca e seleção de informações disponíveis na internet e desenvolvimento e apresentação de produtos de informação. Aspectos como estratégias de pesquisa, tipos de recursos pesquisados, critérios para avaliar a qualidade da informação obtida em *sites* e outros aspectos relevantes relacionados com a qualidade do processo de busca de informações não

são levados em consideração pelos professores. Isso suporta a suposição de que os professores não estão conscientes do seu papel pedagógico associado a orientar os alunos na busca de informações na internet.

Kurt (2013) questiona-se por que razão os professores adotam práticas que utilizam tecnologia em um nível tão limitado. Cita algumas barreiras que impedem o uso da tecnologia disponível de forma eficaz em suas instruções: alguns professores acreditam que são incapazes de integrar a tecnologia em suas instruções devido à formação inadequada; alguns deles acreditam que não podem usar a tecnologia de forma eficiente porque não têm tempo suficiente; alguns não podem usar a tecnologia porque as tecnologias disponíveis estão desatualizadas e, às vezes, os professores acreditam não ter apoio suficiente. O sucesso desta integração tecnológica depende principalmente dos professores, que devem aprender a usar a tecnologia de forma eficaz em suas salas de aula.

Esteves (2012) relata levantamentos em que professores reconhecem que o uso das TIC exige novas competências, e o mais preocupante é que revelam desconhecimento das vantagens pedagógicas das TIC no contexto educativo. Apesar de os professores possuírem equipamentos informáticos com acesso à internet e utilizarem programas e recursos da Web, ainda existem bastantes dificuldades em integrá-las em contexto de sala de aula.

Fozdar (2015) defende o ensino aberto e à distância como um legítimo meio através do qual a educação científica e a educação tecnológica podem ser disseminadas eficazmente. Os avanços das TIC deram oportunidades para a partilha de informações, recursos e experiências, bem como proporcionar oportunidades de trabalho em rede com colegas, estudantes, tutores e a instituição. O conhecimento científico é um pré-requisito para resolver o problema premente e económico social de cada país, para transformar suas sociedades e para ter impacto positivo sobre os níveis de vida e qualidade de vida dos mais pobres de qualquer sociedade.

A introdução de computadores na escola pode ajudar a renovar metodologias e pode até favorecer uma mudança na prática educativa através da redefinição do papel dos professores e alunos no processo de comunicação educativa. No entanto, deve ser reiterado que o uso de tecnologia, por si só, não determina uma melhoria do processo de aprendizagem. É essencial salientar as condições de sua apropriação e uso em sala de aula. A educação multimídia no ambiente escolar, longe de ser uma nova demanda a somar-se ao currículo saturado da educação formal obrigatória, representa um grande desafio: definir um novo modelo de escola para fazer a educação retornar à sua essência comunicativa. A Escola 2.0 não é consolidada com a introdução da tecnologia na sala de

aula; pelo contrário, baseia-se na revolução metodológica e comunicativa, que está na base de sua apropriação instrumental e educacional (Cambrón & Macías, 2015).

Cambrón e Macías (2015) alertam para um aspeto importante e muitas vezes deixado de fora da discussão: como fomentar o ensino secundário menos transmissivo e mais comunicativo se o acesso à universidade se dá através de processos de avaliação mais fundamentados em demonstrar a capacidade de reproduzir conteúdo do que na capacidade de se apropriar deles, de transformá-los e aplicá-los em uma variedade de contextos?

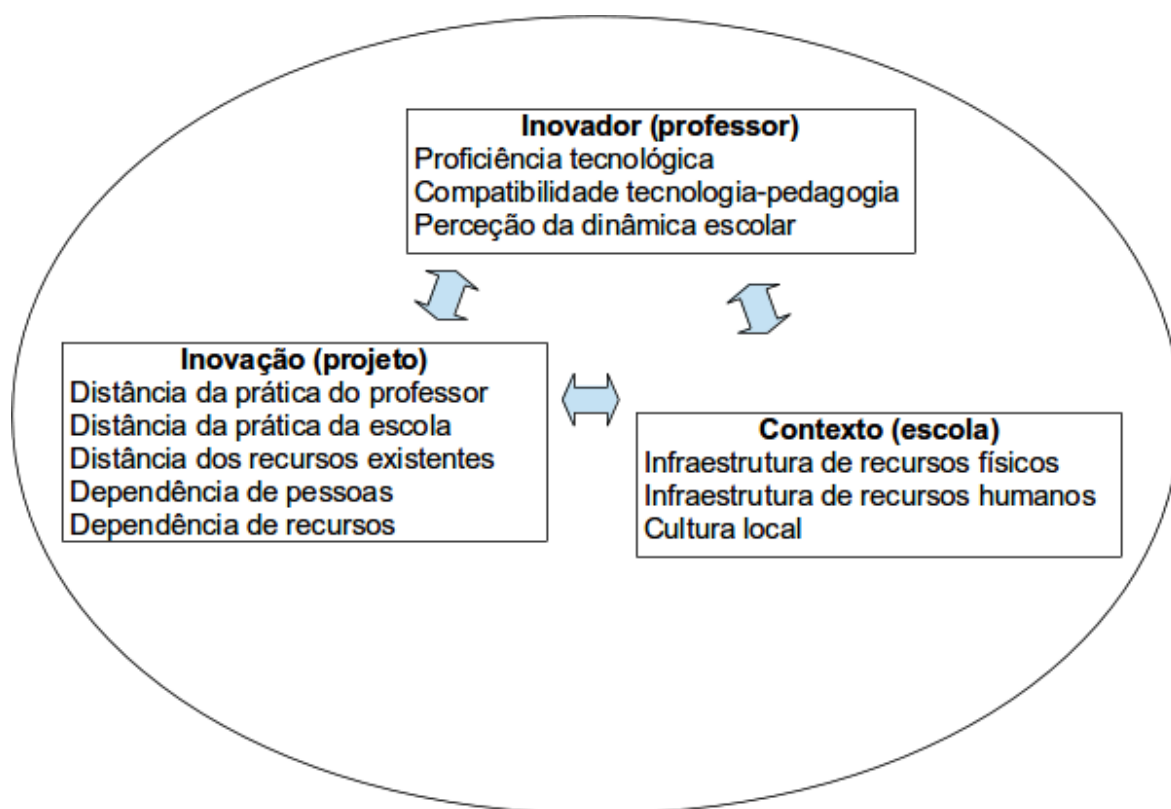
A educação científica é enriquecida pelo uso de experiências visuais, auditivas e táteis. A fim de proporcionar uma aprendizagem eficaz, as instruções devem incluir abordagens multimodais. Dirigir-se a mais sentidos proporciona uma aprendizagem mais permanente. A integração das narrativas suportadas pelas TIC em ambientes de aprendizagem pode fornecer métodos de aprendizagem eficazes e sustentáveis (Ekici & Pekmezci, 2015).

Para Steiner e Mendelovitch (2017), a introdução da tecnologia nas salas de aula israelenses não foi acompanhada de mudanças adequadas na pedagogia. Essas descobertas indicam que os professores de ciências israelenses que reivindicam uma atitude positiva em relação às TIC ainda não estão abertos a preparar o aluno para aprender ativamente e de forma independente e para navegar na aula.

Zhao *et al.* (2002) argumentam, com base nos resultados da investigação, que os professores devem adotar uma abordagem evolutiva e não revolucionária de mudança. É provável que os professores experimentem mais sucesso e menos frustração se derem passos pequenos, mas progressivos, em direção à mudança. Além disso, é provável que beneficiem de equilibrar cuidadosamente a distância e a dependência para que as duas dimensões possam compensar-se mutuamente. Distância refere-se ao desvio da inovação do *status quo* e a dependência refere-se a quanto uma inovação depende de outras pessoas ou recursos.

Para integrar tecnologia no ensino, Zhao *et al.* (2002) destacam alguns pontos importantes para os professores: conhecer os recursos e as restrições de várias técnicas e o modo como as técnicas específicas podem apoiar suas próprias práticas de ensino e metas curriculares; saber como usar as tecnologias; estar cientes das condições de habilitação da tecnologia que eles planeiam usar – que fatores do contexto a fazem funcionar; a necessidade de perceber que a integração de tecnologia requer suporte de outros.

Zhao *et al.* (2002) identificaram 11 fatores relevantes que influenciam o sucesso das inovações tecnológicas nas salas de aula. Esses fatores foram colocados dentro de três domínios interativos: do professor, da inovação e do contexto (Figura 2.1).



**Figura 2.1** Fatores que influenciam o sucesso das inovações tecnológicas nas salas de aula, adaptado de Zhao *et al.* (2002).

No domínio do professor, destacam-se três fatores: proficiência tecnológica, compatibilidade pedagógica e percepção da dinâmica escolar. O primeiro fator refere-se ao conhecimento da tecnologia e às condições favoráveis à sua utilização. O segundo fator refere-se à compatibilidade das crenças pedagógicas do professor com a tecnologia utilizada. O terceiro fator refere-se à capacidade de um professor para negociar com as particularidades da cultura escolar.

Os fatores relativos ao segundo domínio, a inovação, giravam em torno de duas áreas: distância e dependência. A primeira área, distância, abrangeu três subáreas: distância da prática escolar existente, distância da prática do professor e distância dos recursos tecnológicos disponíveis. A segunda área, a dependência, abrangeu duas

subáreas: dependência de outras pessoas e dependência de recursos.

O terceiro domínio, o contexto, teve três aspectos que foram de importância fundamental para o impacto de uma inovação: infraestrutura humana, infraestrutura tecnológica e do apoio local. O primeiro aspecto, a infraestrutura humana, refere-se à preparação organizacional para apoiar a integração de tecnologia na sala de aula. O segundo aspecto, a infraestrutura tecnológica, refere-se à quantidade de recursos disponíveis atualmente em uma escola para atender às necessidades da inovação. O terceiro aspecto, o apoio local, refere-se à medida em que os pares apoiam ou desencorajam os inovadores.

Com base em uma revisão bibliográfica, Groff e Mouza (2008) ampliaram a proposta de Zhao *et al.* (2002). Desenvolveram uma estrutura – o Inventário Individualizado para Integrar Inovações Instrucionais (i5) – para ajudar os professores a preverem a probabilidade de sucesso de projetos baseados em tecnologia na sala de aula e identificarem potenciais barreiras que podem dificultar seus esforços de integração tecnológica, o que pode capacitar os professores para buscar soluções no início do processo e aumentar a probabilidade de ter sucesso com a integração tecnológica (Figura 2.2).

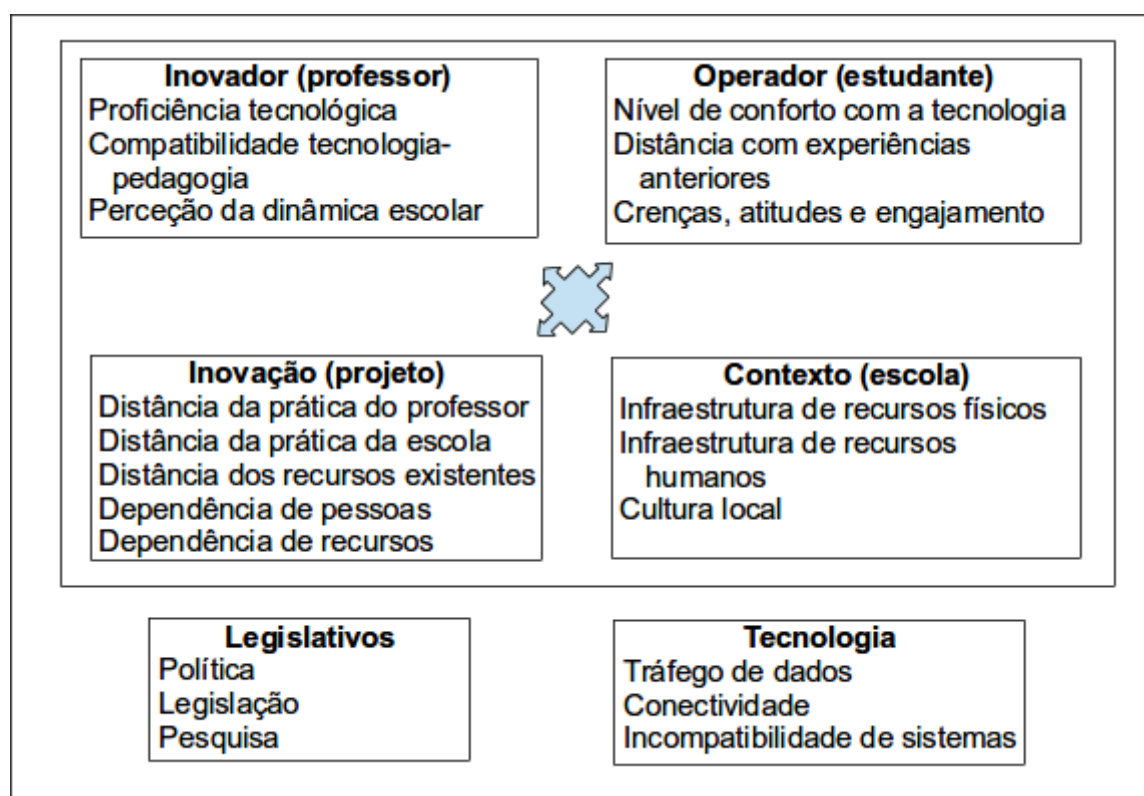


Figura 2.2 Fatores que influenciam o sucesso das inovações tecnológicas nas salas de aula, adaptado de Groff e Mouza (2008).

Groff e Mouza (2008) propõem a existências de seis fatores críticos, cada um com suas próprias variáveis, que influenciam a implementação da tecnologia e a capacidade do professor de integrar com sucesso as inovações na sala de aula: (a) fatores legislativos, (b) fatores do distrito/escola, (c) fatores associados ao professor, (d) fatores associados ao projeto com uso de tecnologia, (e) fatores associados aos estudantes e (f) fatores inerentes à própria tecnologia. Além dos três fatores (b, c, d) já propostos e discutidos por Zhao *et al.* (2002), Groff e Mouza (2008) acrescentam outros três: os fatores associados à população estudantil, referida como Operador, que estão dentro das experiências imediatas dos professores e que podem ser potencialmente abordados; os fatores legislativos – aqueles atribuídos à política, legislação e pesquisa – e os fatores inerentes à própria tecnologia, que existem fora do distrito ou limites da escola e que, portanto, não podem ser facilmente manipulados por professores individuais.

Donnelly *et al.* (2011) ressaltam a importância de considerar tais barreiras potenciais para a integração de recursos baseado nas TIC em escolas secundárias. Propõem que muitas destas barreiras giram em torno do professor individual e que, portanto, são um ponto de partida importante na compreensão do processo de mudança nas escolas. Discutem, a partir daí, um modelo para reconhecer diferentes atitudes de professores sobre integração tecnológica.

## **2.2 Aprendizagem significativa, discurso científico e multirrepresentação**

Segundo Ausubel (2000), a aprendizagem significativa por recepção envolve, principalmente, a aquisição de novos significados a partir de material de aprendizagem apresentado e exige um mecanismo de aprendizagem significativa e a apresentação de material potencialmente significativo para o aprendiz. O processo é significativo porque a nova informação se relaciona de maneira não arbitrária e substantiva à estrutura cognitiva do aprendiz. É por recepção porque o conteúdo principal daquilo que deve ser aprendido é apresentado ao aprendiz, ao contrário de uma aprendizagem na qual o conteúdo deve ser descoberto.

Para Novak e Gowin (1996), o conceito principal da teoria de Ausubel é o de aprendizagem significativa, em oposição ao de aprendizagem por memorização. Para aprender significativamente, o indivíduo deve optar por relacionar os novos conhecimentos com as proposições e conceitos relevantes que já conhece. Pelo contrário, na aprendizagem



por memorização, o novo conhecimento pode adquirir-se simplesmente mediante a memorização verbal e pode incorporar-se arbitrariamente na estrutura de conhecimentos de uma pessoa, sem interagir com o que já lá existe.

A aprendizagem por memorização pode relacionar-se com a estrutura cognitiva, mas apenas de uma forma arbitrária e literal, que não resulta na aquisição de novos significados, com consequência de interiorização de tarefas de aprendizagem relativamente simples e que conseguem ficar retidas por curtos períodos de tempo (Ausubel, 2000).

Apesar de existirem diferenças marcantes entre as aprendizagens significativa e por memorização, não são dicotómicas, dois extremos polarizados, mas podem colocar-se num contínuo memorização-significativo (Ausubel, 2000).

Guruceaga e González (2004) adotam esta noção da diferenciação entre a aprendizagem significativa e por memorização como extremos do mesmo contínuo da aprendizagem humana. Argumentam que a natureza das relações que o indivíduo estabelece com a nova informação é o que determina se o processo de aprendizagem de um indivíduo em particular está mais perto da aprendizagem por memorização ou significativa. Quanto mais substanciais são as relações que o indivíduo estabelece entre seu conhecimento prévio e as novas informações que recebe, mais significativo será seu processo de aprendizagem; quanto mais arbitrárias são as relações que se estabelecem, mais mecânica será a receção das informações e, portanto, a aprendizagem do indivíduo será mais por memorização.

Novak e Gowin (1996) avançam nesta noção de contínuo e incluem a distinção entre o tipo de estratégia de instrução que se utiliza e o tipo de processo de aprendizagem em que o estudante se insere (Figura 2.3). A aprendizagem pode variar desde a que é quase por memorização até à altamente significativa, seja qual for a estratégia de instrução – desde a aprendizagem por receção, em que a informação é oferecida diretamente ao aluno, até à aprendizagem por descoberta autónoma, em que o aluno identifica e seleciona a informação a aprender.

Novak e Gowin (1996) destacam três das ideias da teoria cognitiva da aprendizagem de Ausubel:

- 1) A estrutura cognitiva é organizada hierarquicamente, com os conceitos e as proposições menos inclusivos, mais específicos, subordinados aos conceitos e proposições mais gerais e abrangentes. Esta ideia incorpora o conceito de subsunção de Ausubel, nomeadamente no que diz respeito ao facto de a nova

informação ser frequentemente relacionada e integrada sob conceitos mais abrangentes e gerais. Uma estrutura hierárquica adequada para um segmento de material a ser aprendido inicia-se com conceitos amplos e abrangentes, conduzindo posteriormente a outros mais específicos e menos abrangentes.

Aprendizagem significativa	clarificação de relações entre conceitos	instrução audiotutorial	investigação científica
	palestras, apresentações dos manuais	trabalho no laboratório escolar	pesquisa ou produção intelectual rotineira
Aprendizagem por memorização	tabelas de multiplicar	uso de fórmulas para resolver problemas	resoluções de quebra-cabeças
	Aprendizagem por recepção	Aprendizagem por descoberta guiada	Aprendizagem por descoberta autônoma

**Figura 2.3** Possibilidades de aprendizagem em relação aos tipos de estratégia de instrução e processos de aprendizagem.

- 2) Os conceitos da estrutura cognitiva estão sujeitos a uma diferenciação progressiva, acompanhada do reconhecimento de uma maior abrangência e especificidade nas regularidades dos objetos ou acontecimentos, e de cada vez mais ligações preposicionais com outros conceitos. O princípio de Ausubel da diferenciação progressiva estabelece que a aprendizagem significativa é um processo contínuo, no qual novos conceitos adquirem maior significado à medida que são alcançadas novas relações (ligações preposicionais). Assim, os conceitos nunca são “finalmente aprendidos”, mas sim permanentemente enriquecidos, modificados e tornados mais explícitos e inclusivos à medida que se forem progressivamente diferenciando.
- 3) A reconciliação integradora ocorre quando dois ou mais conceitos são relacionados

em termos de novos significados preposicionais e/ou quando se resolvem conflitos de significados entre conceitos. Este princípio de aprendizagem determina que a aprendizagem significativa é melhorada quando o aluno reconhece novas relações conceituais (ligações conceituais) entre conjuntos de conceitos ou proposições. A reconciliação integradora de conceitos resulta, simultaneamente, numa diferenciação mais profunda de conceitos relacionados.

Guruceaga Zubillaga e González García (2011), em investigação sobre aprendizagem significativa e uso de mapas conceituais, com alunos da educação secundária, na Espanha, relatam a preocupação em garantir que os módulos de instrução implementados na pesquisa cumprissem as condições facilitadoras da aprendizagem significativa: a proposta contemplou uma metodologia para facilitar a participação ativa dos alunos e com atividades contextualizadas para alcançar o envolvimento; realizou-se a análise do conhecimento prévio dos alunos, de forma a garantir que os estudantes haviam adquirido os conceitos mais inclusivos e relevantes que eram necessários; utilizaram-se materiais de instrução como mapas conceituais e o Vê de Gowin. O trabalho, neste contexto, contribuiu para a melhoria da compreensão, do raciocínio lógico e da eficácia, e a avaliação final mostrou evidências de uma aprendizagem significativa dos alunos em relação ao tema estudado.

Novak e Gowin (1996) propõem aos educadores instrumentos simples e funcionais para os ajudar a averiguar “o que o aluno já sabe”. São os mapas conceituais, desenvolvidos especificamente para estabelecer comunicação com a estrutura cognitiva do aluno e para exteriorizar o que este já sabe de forma que tanto ele como o professor se apercebam disso. Recomendam alguns cuidados para conseguir que se usem de maneira significativa os mapas conceituais como instrumentos prévios à instrução: (1) eleger cuidadosamente os termos conceituais chave que se selecionam para servirem de base para o mapa, (2) ajudar os estudantes a irem buscar conceitos relevantes às suas estruturas cognitivas, (3) ajudar os alunos a construir proposições com os conceitos que se lhes proporcionam e os conceitos que eles já conhecem, facilitando-lhes a escolha de palavras de ligação apropriadas para unirem os conceitos, ou mesmo ajudando-os a reconhecer outros conceitos mais gerais que encaixem na organização hierárquica, e (4) ajudar os alunos a distinguirem os objetos ou conceitos específicos dos conceitos mais inclusivos que esses acontecimentos ou objetos representam.

Nesta proposta, Guruceaga e González (2004) utilizaram mapas conceituais como instrumentos que podem refletir tanto o grau de aprendizagem significativa ou mecânica. Em

estudos com alunos da escola secundária, na Espanha, propuseram uma tabela com indicadores que podem ser utilizados na análise de mapas conceituais para definir o tipo de aprendizagem predominante (Tabela 2.1).

**Tabela 2.1 Indicadores e tipos de aprendizagem**

<b>Aprendizagem mais significativa</b>	<b>Aprendizagem mais mecânica</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todos os conceitos são usados.</li> <li>• Há uma diminuição de proposições erróneas.</li> <li>• Há uma organização hierárquica coerente do ponto de vista da natureza inclusiva de conceitos.</li> <li>• Os conceitos mais inclusivos podem ser identificados.</li> <li>• Aparece algum exemplo de superordenação em algum conceito de natureza inclusiva.</li> <li>• Os conceitos mais inclusivos apresentam uma complexa diferenciação progressiva.</li> <li>• Aparecem menos relações lineares entre conceitos ou não aparecem em absoluto.</li> <li>• Aparecem inúmeros enlaces cruzados que revelam reconciliações integradoras de qualidade.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não se utilizam todos os conceitos.</li> <li>• Aparecem, frequentemente, proposições erróneas.</li> <li>• Há uma organização hierárquica não coerente do ponto de vista da natureza inclusiva de conceitos.</li> <li>• Não se identificam conceitos mais inclusivos.</li> <li>• Aparecem relações lineares entre conceitos.</li> <li>• Aparecem poucos e erróneos enlaces cruzados, que revelam reconciliações integradoras deficientes.</li> </ul>

Stefani e Tsapalis (2009), em entrevista semiestruturada com 19 alunos do segundo ano do curso de química, na Grécia, tinham como objetivo verificar até que ponto o entendimento pelos estudantes de química era consistente com a aprendizagem significativa, o que ia, na verdade, além dos currículos convencionais e das abordagens pedagógicas, visto que muitos professores colocavam grande ênfase na aprendizagem e prática extensiva de habilidades algorítmicas, na capacidade de aplicar procedimentos ensinados para resolver um problema (um exercício) ou para executar uma determinada tarefa. Ao combinar níveis de explicações com níveis de modelos, obtiveram quatro categorias, A, B, C e D. As categorias A e B foram colocadas na parte de aprendizagem por memorização do contínuo e as categorias C e D na parte de aprendizagem significativa.

Estudantes das categorias C e D deram explicações bem-sucedidas que indicam um conhecimento científico aprofundado, próximo do de especialistas. Esses alunos poderiam interagir facilmente através da conversa, produzindo longos fluxos de explicações. Na outra extremidade, os alunos das categorias A e B pareciam ter aprendizagem mecânica e baseavam-se em memorizar e reproduzir algum conteúdo, possuíam uma visão simplória de modelos e eram limitados a um conteúdo rígido, de poder explicativo pobre.

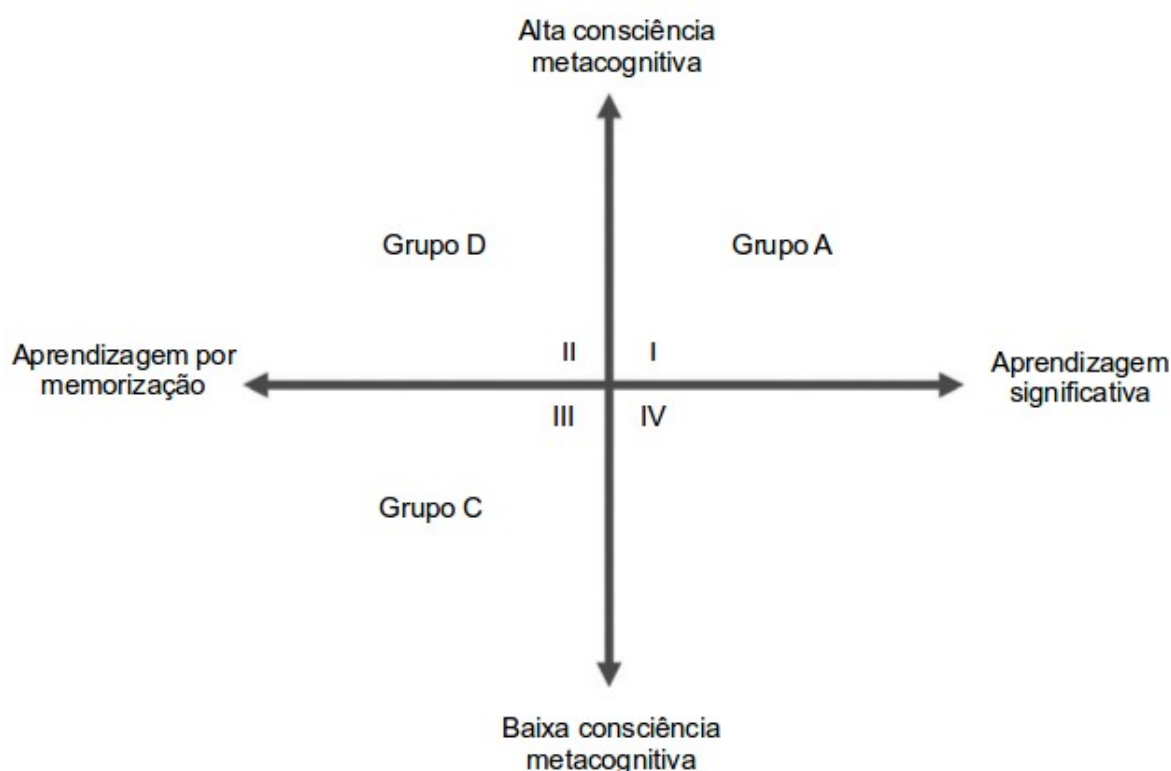
Pires e Veit (2006), trabalhando com 68 estudantes da primeira série do ensino médio, no Brasil, analisaram a importância de material potencialmente significativo disponibilizado em plataforma de educação à distância. Analisaram as contribuições dos alunos nos fóruns de discussão e propuseram cinco categorias, que vão desde aqueles alunos que comentaram superficialmente respostas anteriores sem qualquer acréscimo até aos estudantes que se envolveram na discussão proposta, apresentando afirmações que envolvem conteúdo da disciplina, com afirmações corretas.

Grove e Lowery Bretz (2012) buscaram entender as estratégias de aprendizagem que os alunos empregaram para aprender química orgânica e documentar como essas estratégias evoluíram ao longo do curso. O estudo envolveu 12 estudantes universitários dos Estados Unidos. A análise dos resultados sugeriu que os participantes deste estudo poderiam ser identificados como pertencentes a um dos quatro grupos em relação à sua aprendizagem: (A) com aprendizagem significativa – buscavam um aprofundamento do conteúdo, usavam técnicas específicas (*flashcards*, guias de estudo, questionários) e desenvolveram uma estratégia metacognitiva; (B) de transição – ocasionalmente apelavam para a memorização, sem procurar entender ou aprofundar o tema; (C) desinformado – desconheciam as técnicas de aprendizagem significativa; (D) aprendiz indiferente – conheciam as técnicas de aprendizagem significativa mas não as utilizavam. No caso do aprendiz indiferente, os autores levantaram a hipótese de que os alunos possuíam equívocos significativos sobre a própria natureza da aprendizagem de química orgânica, o que poderia mantê-los em suas abordagens malsucedidas.

Entende-se por estratégias metacognitivas o desenvolvimento, pelo aluno, de modos eficazes para lidar com a informação proveniente do meio e com os próprios processos de pensamento (Ribeiro, 2003).

Grove e Lowery Bretz (2012) propõem, a partir da investigação, um modelo que caracteriza os quatro grupos ao longo de duas dimensões: a primeira dimensão descreve até que ponto os alunos realmente usam técnicas de aprendizagem mecânicas ou significativas, e a segunda dimensão descreve a consciência metacognitiva dos estudantes

(Figura 2.4). O Grupo B pode, teoricamente, existir dentro de qualquer um dos quatro quadrantes, em uma trajetória em direção ao quadrante I.



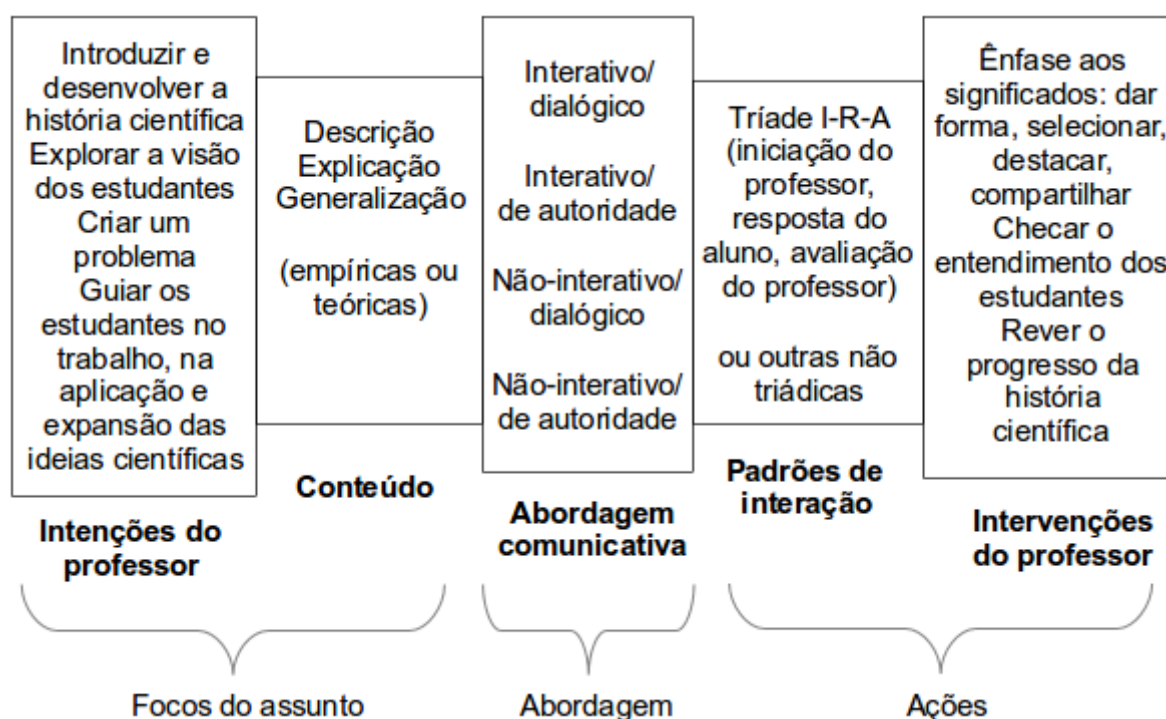
**Figura 2.4** Tipos de aprendizagem e estágios de consciência metacognitiva.

Nenhum estudante foi categorizado dentro do quadrante IV. Os autores do trabalho acreditam que o mais provável é que as técnicas de aprendizagem mais significativas e a baixa consciência metacognitiva sejam mutuamente exclusivas.

O processo de aprendizagem, de acordo com Mortimer e Scott (2002), não é visto como a substituição das velhas concepções, que o indivíduo já possui antes do processo de ensino, pelos novos conceitos científicos, mas como a negociação de novos significados num espaço comunicativo no qual há o encontro entre diferentes perspectivas culturais, num processo de crescimento mútuo. Esse processo de construção de significados acontece com interações discursivas entre professores e alunos e entre alunos. Os padrões de discurso que prevalecem nas salas de aula de ciências são muito distintos e, como tal, constituem um gênero de discurso estável.

Mortimer e Scott (2002), ao depararem-se com lacunas sobre como os professores

dão suporte ao processo pelo qual os estudantes constroem significados em salas de aula de ciências, sobre como essas interações são produzidas e sobre como os diferentes tipos de discurso podem auxiliar a aprendizagem dos estudantes, introduziram uma ferramenta analítica para investigar maneiras através das quais professores interagem com alunos para promover essa construção do significado em aulas de ciências na escola secundária. A estrutura analítica baseia-se em cinco aspectos interrelacionados, que focalizam o papel do professor e são agrupadas em termos de focos do ensino, abordagem e ações (Figura 2.5).



**Figura 2.5** Estrutura analítica para investigar interação professor-alunos na construção do significado em aulas de ciências na escola secundária.

Quando um professor interage com os estudantes numa sala de aula de ciências, a natureza das intervenções pode ser caracterizada em termos de dois extremos. No primeiro deles, o professor considera o que o estudante tem a dizer do ponto de vista do próprio estudante, mais de uma “voz” é considerada e há uma construção de sentidos. Este primeiro tipo de interação constitui uma abordagem comunicativa dialógica. No segundo extremo, o professor considera o que o estudante tem a dizer apenas do ponto de vista do discurso científico escolar que está sendo construído. Este segundo tipo de interação constitui uma abordagem comunicativa de autoridade, na qual apenas uma “voz” é ouvida e a construção

de sentidos é comprometida. O critério para que uma sequência discursiva seja identificada como dialógica ou de autoridade é independente de ter sido enunciada por um único indivíduo ou interativamente, mas se ela expressa mais de um ou apenas um ponto de vista (Mortimer & Scott, 2002).

Ainda, segundo estes autores, o discurso interativo é aquele que ocorre com a participação de mais de uma pessoa, e o discurso não-interativo é aquele que ocorre com a participação de uma única pessoa. As possibilidades que surgem são indicadas na Tabela 2.2.

**Tabela 2.2 Classes de abordagem comunicativa, adaptado de Mortimer e Scott (2002).**

	<b>Interativo</b>	<b>Não-interativo</b>
<b>Dialógico</b>	professor e estudantes exploram ideias, formulam perguntas e trabalham diferentes pontos de vista.	professor reconsidera, na sua fala, vários pontos de vista, destacando similaridades e diferenças.
<b>De autoridade</b>	professor geralmente conduz os estudantes com o objetivo de chegar a um ponto de vista específico.	professor apresenta um ponto de vista específico.

No final do caso estudado, Mortimer e Scott (2002) caracterizam o discurso por assumir um “ritmo” particular em torno das etapas repetidas de discutir/trabalhar/rever e consideram que tal “ritmo de ensino” foi interessante, ao promover a aprendizagem no contexto da sala de aula. Além disso, afirmam que não é comum existirem exemplos de abordagens para o ensino de ciências que representem um movimento entre esses três elementos de forma sistemática e rítmica.

Mortimer e Scott (2002) abordam a forma como as ideias de transformação progressiva do conteúdo do discurso e de ciclos de abordagem comunicativa se relacionam ao longo das aulas. Por meio de cada um desses ciclos, o conteúdo do discurso da sala de aula vai-se modificando progressivamente: dos lugares onde se observou o fenômeno para coisas existentes nesses lugares; dessas coisas para as coisas essenciais; e, finalmente, das coisas essenciais para a prova científica.

Se o objetivo do ensino é fazer com que os estudantes desenvolvam um entendimento do tópico em estudo, esses estudantes devem engajar-se em atividades



dialógicas, seja de forma interativa ou não-interativa: participando de, ou escutando a, uma interação dialógica entre o professor e a classe; discutindo ideias com seus colegas em pequenos grupos; pensando sobre as ideias. Seja de que forma for que isso se concretize, cada estudante precisa de ter a oportunidade de trabalhar as novas ideias, “especificando um conjunto de suas próprias palavras” em resposta a essas ideias, para que possa apropriar-se delas, tornando-as as suas próprias ideias (Mortimer & Scott, 2002).

Estes autores reconhecem a importância fundamental das atividades dialógicas para os estudantes produzirem significados, mas consideram ser responsabilidade do professor desenvolver a história científica. Faz parte do trabalho do professor intervir, introduzir novos termos e novas ideias, para fazer a história científica avançar. Intervenções de autoridade são igualmente importantes e parte fundamental do ensino de ciências. Parece fundamental considerar a importância de o professor intervir para levar uma etapa da atividade ao fechamento, pontuando o estágio do desenvolvimento da história científica com afirmações relacionadas com o “corrente estágio de entendimento”. Em qualquer sequência de ensino, é aconselhável que haja variações nas classes de abordagem comunicativa, cobrindo tanto a dimensão dialógica/de autoridade como a interativa/não-interativa.

A apresentação autoritária de ideias, por si só, não pode garantir uma aprendizagem significativa. É importante que os alunos tenham a oportunidade de tornar explícitas as suas ideias cotidianas no início de uma sequência de ensino e aplicar e explorar ideias científicas recentemente aprendidas através de conversas e outras ações para si (Aguiar *et al.*, 2010).

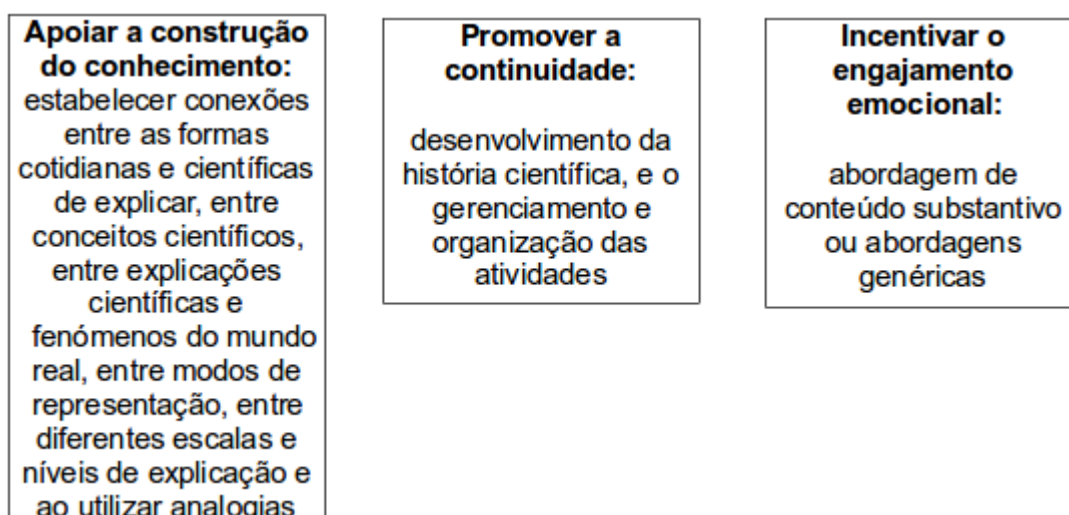
Os alunos precisam de se envolver no processo dialógico de explorar e trabalhar em ideias, com um alto nível de interação, no contexto do ponto de vista científico. Desta forma, as transições entre interações dialógicas e de autoridade são fundamentais para apoiar a aprendizagem significativa do conhecimento disciplinar, pois diferentes objetivos de ensino são abordados (Aguiar *et al.*, 2010).

Isso pode ser conseguido através de: proporcionar ao professor informações sobre o pensamento dos alunos, permitir que os alunos chamem a atenção para suas incertezas de compreensão, permitir que os alunos contribuam com suas próprias ideias e interesses para o debate na sala de aula, motivar os alunos a se envolverem na conversa e no pensamento da lição de ciência. Daí a importância das questões dos alunos, ao contribuírem para o objetivo da aprendizagem significativa, simplesmente porque é através das interações que envolvem essas questões que os alunos são capazes de desenvolver vínculos essenciais para fazer sentido (Aguiar *et al.*, 2010).

As operações de descrição, explicação e generalização, de acordo com Silva e Mortimer (2010), ocorrem dentro de um determinado movimento pelo qual o conhecimento é trabalhado ao longo das interações até adquirir um acabamento final e constituir um enunciado, e essas discussões podem envolver aspectos observáveis e mensuráveis de um determinado sistema em análise, considerado o mundo dos objetos e eventos, ou podem fazer referência a entidades criadas por meio do discurso teórico das ciências, considerado o mundo das teorias e dos modelos. Concebe-se, ainda, que isso pode ser feito em três níveis referenciais: (i) referente específico, que corresponde a um objeto ou fenómeno em particular; (ii) classe de referentes, que corresponde a um conjunto de fenómenos ou objetos que apresentam características em comum; e (iii) referentes abstratos, que correspondem a princípios ou conceitos mais gerais que possibilitam pensar sobre fenómenos em particular ou classe de fenómenos.

Scott *et al.* (2011) discutem as maneiras pelas quais professores e alunos fazem conexões entre as ideias durante as interações de criação de significados em sala de aula (Figura 2.6). Considerando a conexão entre ideias fundamental para a aprendizagem de ciências e, conseqüentemente, para o ensino de ciências, identificam três objetivos principais para essas conexões:

- (1) apoiar a construção do conhecimento: fazer conexões entre diferentes tipos de conhecimento para apoiar os alunos no desenvolvimento de uma compreensão profunda do assunto. Isto se dá ao estabelecer conexões entre as formas cotidianas e científicas de explicar, entre conceitos científicos, entre explicações científicas e fenómenos do mundo real, entre modos de representação, entre diferentes escalas e níveis de explicação, e ao utilizar analogias;
- (2) promover a continuidade: fazer referências às atividades de ensino e aprendizagem entre os pontos no tempo, pois, pela natureza do processo, ocorrem ao longo de dias, semanas, meses ou anos. Envolve o desenvolvimento da história científica, e o gerenciamento e organização das atividades;
- (3) incentivar o engajamento emocional: relaciona-se com as diferentes maneiras pelas quais o professor faz conexões para incentivar uma resposta emocional positiva dos alunos. Pode ocorrer com abordagem de conteúdo substantivo ou abordagens genéricas.



**Figura 2.6** Possibilidades de conexões de ideias entre professores e alunos durante as interações de criação de significados em sala de aula.

Scott *et al.* (2011) ressaltam que entender uma ideia envolve colocar em contacto ideias novas e outras já existentes, fazer conexões entre estas ideias e, a partir daí, o número e qualidade das conexões criadas determinam a profundidade e a extensão da compreensão. Isto tem ressonância com a aprendizagem significativa de Ausubel, e contrasta com o processamento superficial e a aprendizagem mecânica, caracterizada pela memorização de factos discretos e pela falta de integração ou vinculação com ideias existentes. Também enfatizam que professores e alunos devem estar envolvidos no processo de criação de significados, e que o aprendiz tem responsabilidade na sua própria aprendizagem.

Um dos aspetos ressaltados por esses autores, que é a criação de vínculos entre modos de representação, assume grande destaque na literatura. Prain e Waldrup (2006) ressaltam que há um crescente reconhecimento, na pesquisa de educação científica, de que os alunos precisam de entender e vincular diferentes modos de representação, como modos gráficos e verbais, para aprender a pensar e agir cientificamente.

Prain e Waldrup (2006) adotam uma diferenciação entre os termos multirrepresentação e multimodos: a representação múltipla refere-se à prática de representar o mesmo conceito através de diferentes formas, incluindo modos verbais, gráficos e numéricos, de maneira que os estudantes sejam expostos a este conceito repetidamente. A representação com múltiplos modos refere-se à integração no discurso científico de diferentes modos para representar raciocínio científico e descobertas.

Neste sentido, Gilbert (2004) propõe uma classificação dos diferentes modos de representação: concreto, verbal, simbólico, visual e gestual. O modo concreto (ou material) é tridimensional e é feito de materiais resistentes. O modo verbal pode consistir em uma descrição das entidades e as relações entre eles em uma representação e estas versões podem ser faladas ou escritas. O modo simbólico consiste em símbolos e fórmulas químicas, equações químicas e expressões matemáticas, particularmente equações. O modo visual faz uso de gráficos, diagramas, animações, representações bidimensionais de estruturas químicas ("diagramas"), "modelos virtuais" produzidos por programas de computador. O modo gestual faz uso do corpo ou de suas partes.

Existe um consenso na literatura de que os alunos precisam de desenvolver uma compreensão de modos diversos, em vez de dependerem de modos específicos para tópicos específicos, se quiserem desenvolver uma forte compreensão de conceitos de ciência e vários meios para sua representação (Prain & Waldrip, 2006).

Existem várias formas que promovem o entendimento ou representações do mesmo conceito ou processo, e que incluem categorias tais como: descritivas (verbais, gráficas, tabulares), experimentais, matemáticas, figurativas (pictóricas, análogas e metafóricas), gestos e movimentos corporais. Também há concordância de que esses modos de representação têm diferentes pontos fortes e fracos em termos de precisão, clareza e significado associativo, e que os alunos precisam de entender esses aspectos das representações, bem como seu uso integrado para representar conceitos científicos. Os alunos também precisam de entender que diferentes modos são usados para diferentes fins, como a medição de um processo através de representação tabular e matemática, ou mostrando as relações entre elementos em um processo através de uma combinação de diagrama e representação escrita (Prain & Waldrip, 2006).

Em níveis iniciais de aprendizagem de ciências, é preciso que os alunos sejam apresentados às multirrepresentações e multimodos e que sejam capazes de entender, modificar e integrar esses modos como parte da aprendizagem da natureza do conhecimento científico e sua representação. Os professores precisam de ser esclarecidos sobre o que as reações dos alunos aos diferentes modos revelam sobre suas capacidades conceituais de compreensão e aprendizagem e como permitir que os alunos façam conexões duráveis entre os diferentes modos de representação (Prain & Waldrip, 2006).

Hill e Sharma (2015) reafirmam que, para ter sucesso nas disciplinas científicas, é importante o uso de representações, inclusive aquelas baseadas em palavras, gráficos, equações e diagramas. O uso de multirrepresentações é fundamental para a resolução de

problemas e o desenvolvimento da compreensão. Para ter sucesso dentro de uma disciplina, os alunos precisam de ser competentes com um formato de representação, escolher e usar representações individuais apropriadas e integrá-las quando necessário. As dificuldades dos alunos no uso de múltiplas representações, especialmente nas ciências, estão associadas à compreensão das próprias representações e como raciocinar ao usar-se as representações durante a aprendizagem ou na resolução de problemas. A fluência representacional envolve produzir significado usando combinações de modos de representação, incluindo representações verbais (baseadas em palavras), visuais (com base em diagramas e gráficos) e simbólicas (equações e gráficos).

Durante a aprendizagem das ciências, é facilmente constatável que os estudantes se submetem a diferentes modos de representação, quer sejam eles descritivos, experimentais e matemáticos, ou por meio de outros modos complementares e auxiliares destes, como a linguagem figurativa, por gestos corporais, entre outros possíveis. Aprender ciência envolve um desafio representacional em uma variedade de contextos (Laburú *et al.*, 2011).

Demirbag e Gunel (2014), em estudo com 119 estudantes universitários da Turquia, encontraram resultados que mostram evidências sobre o valor de implementar o ensino de ciências via instrução com múltiplos modos de representação. Observaram melhorias na capacidade de entender dos alunos, no uso das representações e na capacidade de gerar argumentos de melhor qualidade. Sugerem que o ensino de ciências, em diferentes níveis, pode adotar instruções de representação multimodal para aprimorar habilidades de aprendizagem, escrita e argumentação de ciências.

Namdar e Shen (2016) consideram que o uso de múltiplas representações e a argumentação são dois processos fundamentais em ciência. Cientistas especializados não só usam representações para apoiar seus argumentos, mas também empregam a argumentação como forma de aprimorar as representações existentes ou mesmo de criar novas representações que lhes permitam executar melhor suas práticas. Os autores realizaram estudo com 20 alunos de licenciatura, nos Estados Unidos, sobre a relação entre esses dois processos e encontraram que o uso de múltiplas representações dá suporte à argumentação em diferentes formas e para diferentes fins e o tipo de argumentação que leva ao aperfeiçoamento do uso de múltiplas representações pode ser exercitado e incentivado pelos professores.

Edwards (2015) propõe que múltiplas representações possam ser adotadas na sala de aula de ciências, porque isso envolve o aluno em habilidades de pensamento de ordem superior, conecta-o com o mundo além da sala de aula em um ambiente de suporte e

valoriza a diferença, ao proporcionar aos alunos múltiplas oportunidades para desenvolver uma compreensão profunda dos conceitos.

Cho e Nam (2017), em estudo com 54 alunos do sétimo ano em escola da Inglaterra, observaram que os alunos do grupo experimental, que foram encorajados a usar representações multimodais, deram destaque a uma representação ampla, com uso maior de integração, precisão e ênfase na representação de informações durante a apresentação da tarefa de pesquisa científica. Os alunos do grupo experimental melhor expressaram conceitos científicos e suas apresentações não eram apenas conceitos científicos listados, mas apresentavam conceitos através de uma grande ideia.

O crescente uso de novas tecnologias para a condução de atividades científicas e para a divulgação de ciência fora da sala de aula sugere que os alunos precisam de se envolver com estas representações multimodais e que as práticas de sala de aula com diversos modos mediados por tecnologia devem ser baseadas em evidências de pesquisa que estabeleçam os benefícios do engajamento com estes modos específicos para promover a aprendizagem (Prain & Waldrip, 2006).

Jaakkola e Veermans (2015) investigaram o uso de simulações envolvendo circuitos elétricos por 52 alunos do quinto e sexto anos, na Finlândia. Os resultados do estudo sugerem que o tipo de representação utilizada na simulação interferiu nos resultados de compreensão dos circuitos e no tempo de aprendizagem. Os resultados sugerem haver necessidade de adequação do tipo de representação (mais concreta ou mais abstrata) à faixa etária que utiliza o recurso.

Wu *et al.* (2015) destacam a questão de como os diferentes tipos de representações (estática e dinâmica) afetam os desempenhos dos alunos em avaliações baseadas em computador, com estudantes dos oitavo e 11.º anos de escolas de Taiwan. Os resultados encontrados implicaram que os pesquisadores precisam de prestar especial atenção ao *design* dos conteúdos visuais.

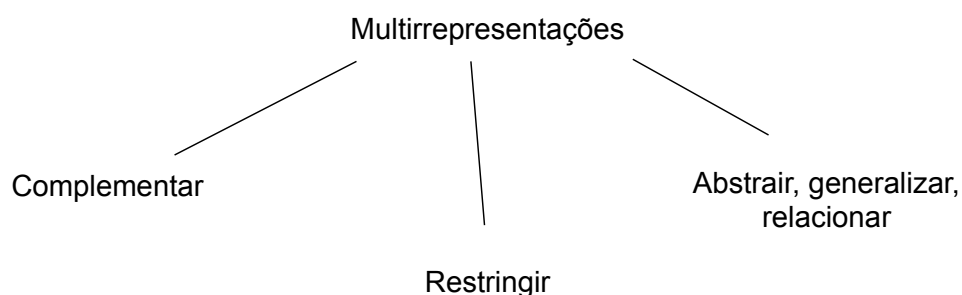
López e Pintó (2017) destacam que as simulações computacionais são, muitas vezes, consideradas ferramentas educacionais efetivas, já que seu poder visual e comunicativo permite aos alunos compreender melhor os sistemas e fenômenos físicos, mas a compreensão dos alunos sobre essas representações visuais representadas não pode ser dada como garantida. Os professores de ciência devem ter em mente essas questões para ajudar os alunos a ler imagens para beneficiarem do seu potencial educacional. Em estudo com 18 estudantes de escolas secundárias na Espanha, os autores

observaram que os estudantes apresentaram alguma dificuldade ao ler a estrutura composicional da representação, ao dar relevância apropriada e significado semântico a cada elemento visual, e também ao lidar com múltiplas representações e informações dinâmicas. As simulações devem ser cuidadosamente projetadas do ponto de vista visual, evitando a sobrecarga de informações, informações ambíguas e também os elementos decorativos e imprecisões visuais.

As multirrepresentações e os multimodos envolvem abordagens amplas e diferentes para uma melhor compreensão. Neste trabalho, priorizou-se o estudo de multirrepresentações.

Ainsworth (1999) afirma que, para aprender a ciência de forma eficaz, os alunos devem entender diferentes representações de conceitos e processos de ciência, devem poder traduzi-los um para o outro, bem como entender seu uso coordenado na representação do conhecimento científico.

Ainsworth (1999) propõe três funções exercidas pelas multirrepresentações no processo de aprendizagem: (i) a nova representação retoma, complementa e confirma a compreensão de outra representação anterior, o que é importante, pois a comunicação humana é um sistema sujeito a falhas; (ii) a nova representação restringe e refina a interpretação, limitando o foco do aluno em características conceituais chave e (iii) permitir um profundo entendimento da situação, ao promover abstração, viabilizar generalização e relacionar as representações (Figura 2.7).



**Figura 2.7 Funções exercidas pelas multirrepresentações no processo de aprendizagem.**

As representações semióticas são produções constituídas pelo emprego de signos

pertencentes a um sistema de representações que tem inconvenientes próprios de significação e de funcionamento. Uma figura geométrica, um enunciado em língua natural, uma fórmula algébrica, um gráfico, tudo isto são representações semióticas que exibem sistemas semióticos diferentes. As representações mentais recobrem o conjunto de imagens e, mais globalmente, as conceitualizações que um indivíduo pode ter sobre um objeto, sobre uma situação e sobre o que lhe é associado. Não é possível, portanto, fingir como se as representações semióticas fossem simplesmente subordinadas às representações mentais, pois o desenvolvimento da segunda depende de uma interiorização da primeira e somente as representações semióticas permitem preencher algumas funções cognitivas essenciais. O funcionamento cognitivo do pensamento humano revela-se inseparável da existência de uma diversidade de registros semióticos de representação. A *noesis* (apreensão conceitual de um objeto) é inseparável da *semiose* (apreensão ou a produção de uma representação semiótica) (Duval, 2012).

No caso da química, Kozma e Russell (2005) concordam com estes dois tipos de representações que os químicos usam para entender fenômenos químicos – aqueles que são representações internas, mentais, e aquelas que são expressões simbólicas externas. Todos os químicos desenvolveram a capacidade de “ver” a química em suas mentes em termos de imagens de moléculas e suas transformações. As representações internas são referidas como conceitos, princípios ou “modelos mentais” que abrangem o estado da compreensão química do indivíduo. Os químicos também constroem, transformam e usam uma variedade de representações externas – expressões simbólicas, como desenhos, equações e gráficos. Nas conversas entre químicos, eles fazem espontaneamente equações e diagramas estruturais para representar visualmente os componentes de seus modelos mentais e a composição e estrutura dos compostos que são objeto de seu trabalho. É forte a relação entre a compreensão dos fenômenos pelos químicos e as representações externas que eles usam para representá-los.

Uma parte crucial de qualquer sistema ou comunidade social é a convenção de interpretação dos significados das representações. À medida que os indivíduos se integram em uma comunidade de prática, eles usam progressivamente seus sistemas de representação em atividades de produção de significado. E, por sua vez, as representações são ferramentas úteis para construir e comunicar o entendimento (Kozma & Russell, 2005).

É pelo uso dessas representações que os químicos são capazes de visualizar, discutir e compreender as moléculas e os processos químicos que respondem pelos reagentes e fenômenos mais perceptíveis que observam no laboratório (Kozma & Russell,



2005).

A apreensão conceitual, segundo Duval (2012), implica coordenação de muitos registros de representação. O registro é um campo de variação de representação semiótica em função de fatores cognitivos que lhe são próprios. Para que um sistema semiótico possa ser um registro de representação, deve permitir as três atividades cognitivas fundamentais ligadas à semiose: (i) a formação de uma representação identificável como uma representação de um registro dado; (ii) o tratamento de uma representação, que é a transformação desta representação no mesmo registro onde ela foi formada – é uma transformação interna a um registro; (iii) a conversão de uma representação, que é a transformação desta função em uma interpretação em outro registro, conservando a totalidade ou uma parte somente do conteúdo da representação inicial – é uma transformação externa ao registro de início. Alguns exemplos são apresentados na Tabela 2.3.

**Tabela 2.3 Exemplos das três atividades cognitivas fundamentais ligadas à semiose.**

<b>Formação</b>	<b>Tratamento</b>	<b>Conversão</b>
enunciação de uma frase composição de um texto desenho de uma figura geométrica elaboração de um esquema expressão de uma fórmula	paráfrase, inferência (língua natural) cálculo (expressões simbólicas) reconfiguração (figuras geométricas) anamorfose (representação figural)	ilustração (representação linguística em representação figural) tradução (representação linguística de uma língua em outro tipo de língua) descrição (representação de esquema, figura, gráfico em uma função linguística)

Das três atividades cognitivas ligadas à semiose, somente as duas primeiras – a formação e o tratamento – são levadas em conta no ensino, mesmo quando se trata da organização de sequências de aprendizagem ou da construção de questionários de validação. Isto negligencia o facto de que, na aprendizagem, a conversão desempenha um papel essencial na conceitualização (Duval, 2012).

Dreher *et al.* (2016), em estudo com estudantes ingleses (139) e alemães (219) de licenciatura em matemática, observaram que há aspetos dos pontos de vista dos futuros

professores que são dependentes da cultura, mas também que existem necessidades comuns de desenvolvimento profissional. Apesar de os estudantes responderem que há boas razões para o uso de múltiplas representações para o ensino em geral, apenas a convicção de que “usar múltiplas representações é boa” não é suficiente para projetar oportunidades de aprendizagem ricas. Os participantes ingleses e alemães não foram capazes de reconhecer o potencial de aprendizagem das tarefas que se concentram nas conversões das representações.

Essa diversidade de registros no funcionamento do pensamento humano pode ser explicada a partir de duas hipóteses: os custos de tratamento e as limitações representativas específicas a cada registro. A existência de muitos registros permite a mudança de um deles e a mudança de registro tem por objetivo permitir a realização de tratamentos de uma maneira mais económica e mais potencializada: as relações entre objetos podem ser representadas de maneira mais rápida e mais simples para compreender por fórmulas literais do que por frases. Uma linguagem não oferece as mesmas possibilidades de representação que uma figura ou um diagrama. Isto quer dizer que toda a representação é cognitivamente parcial em relação ao que ela representa, e que de um registro a outro não estão os mesmos aspetos do conteúdo de uma situação que estão representados (Duval, 2012).

Duval (2012) propõe uma terceira hipótese: a de que a conceitualização implica coordenação de registros de representação, e que esta coordenação se manifesta pela rapidez e espontaneidade da atividade cognitiva de conversão. Pode-se observar, em todos os níveis de ensino, na grande maioria dos alunos, um isolamento de registros de representação. A coordenação não se efetua espontaneamente para a maior parte dos sujeitos, daí a importância de o professor ter a conscientização da forte ligação existente entre *noesis* (apreensão conceitual de um objeto) e *semiose* (apreensão ou a produção de uma representação semiótica). A partir daí, propõe um esquema de coordenação entre dois registros, alertando para que, em alguns casos, uma coordenação com mais registros possa ser requisitada (Figura 2.8).

As flechas 1 e 2 correspondem às transformações internas a um registro e as flechas 3 e 4 às transformações externas, quer dizer, mudança de registro por conversões. A flecha C corresponde à compreensão integral de uma representação: ela supõe uma coordenação de dois registros. As flechas pontilhadas marcam a distinção clássica entre representante e representado, em que a aprendizagem poderia ser feita a partir de um tipo de representante apenas (Duval, 2012).

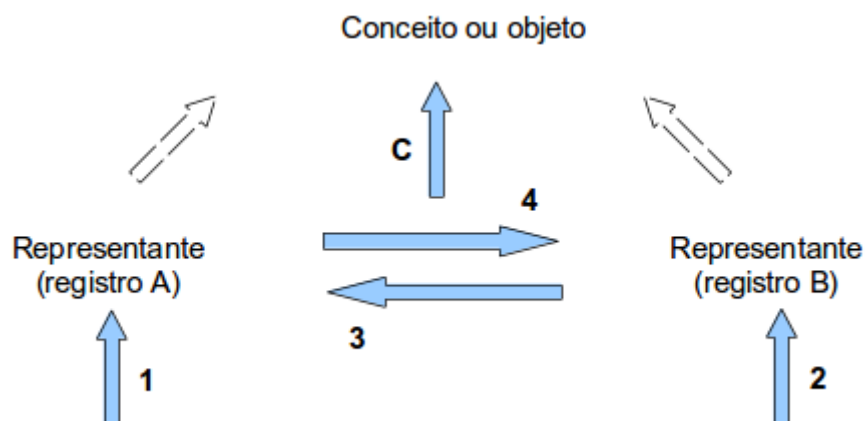


Figura 2.8 Hipótese de aprendizagem com coordenação de dois registros.

Uma possibilidade de descuido, com consequências para o ensino, é a significação ser postulada como sendo uma consequência inevitável do registro, e daí as operações de conversão de representação de um registro a outro parecerem evidentes e serem negligenciadas em relação às operações de formação ou de tratamento das representações. Se a conceitualização implica coordenação de registros de representação, o principal caminho das aprendizagens não pode ser somente a automatização de certos tratamentos ou a compreensão de noções, mas deve ser a coordenação de diferentes registros de representação (Duval, 2012).

A ausência de coordenação entre dois ou mais registros não impede toda a compreensão. Mas esta compreensão, limitada ao contexto semiótico de um registro apenas, não favorece em nada as transferências e as aprendizagens posteriores: torna os conhecimentos adquiridos pouco ou não utilizáveis em outras situações em que deveriam realmente ser utilizados (Duval, 2012).

O professor deve estar atento para propiciar momentos que privilegiem certos modos discursivos para serem empregados com seus alunos de maneira a tornar as atividades de ensino mais flexíveis. Na oferta de variedade de modos de representação como formas de expressão, comunicação e, enfim, pensamento, sempre é possível estabelecer relações entre o perfil de aprendizagem de cada sujeito e certos modos representacionais que melhor se acomodem a ele (Laburú *et al.*, 2011).

A vinculação entre multimodos, múltiplas representações e aprendizagem significativa acha-se junto ao conceito de substantividade. Na medida em que este conceito denota incorporar, na estrutura cognitiva, a substância do novo conhecimento, das novas

ideias, não as palavras precisas usadas para expressá-las, isto significa dizer que uma aprendizagem significativa passa a prevalecer quando um mesmo conceito ou uma mesma proposição consegue ser expressa de diferentes maneiras, por meio de distintos signos ou de grupos de signos, equivalentes em termos de significados. Um estudante aprende no momento em que for capaz de converter e expressar semelhança, em termos de significados, entre distintas linguagens ou formas representativas, sem que permaneça dependente da exclusividade de um signo em particular para exprimir suas ideias. Compreender, então, envolve conexões e processamento de pensamento em que se é capaz de substituir alguma representação semiótica por outra, sendo que, para a ciência e a matemática, o importante não são as representações, mas suas transformações (tratamento e conversão), e, no caso da ciência, incluem-se, ainda, as operações realizadas sobre o empírico. Percebe-se que é por meio da observação do que faz o aluno, ao ser confrontado com as representações de diferentes situações, que é possível descobrir o grau de conexões conquistadas durante a aprendizagem. A pluralidade de modos e a multiplicidade de formas de representação, como meio auxiliar para construções de novos conceitos científicos, permitem a formação de vínculos entre os conhecimentos prévios do sujeito e os novos conceitos, possibilitando a estruturação de sentidos e de relações argumentativas (Laburú *et al.*, 2011).

Ao proporcionar que os aprendizes façam um esforço para exprimir, em palavras, os seus pensamentos gerados por outros modos, abre-se a possibilidade para que seus conhecimentos se coordenem, organizem, estruturem e se aprimorem, sempre que traços-chave, ligações internas e entre representações sejam identificados, priorizados e novamente elaborados pelos estudantes (Laburú *et al.*, 2011).

Com base no uso de representações dos químicos, Kozma e Russell (2005) descreveram cinco níveis de competência representacional com base na geração, uso e compreensão das visualizações (Figura 2.9). Os cinco níveis variam desde o uso de características de superfície dos novatos para definir fenômenos químicos (nível 1) até ao uso retórico dos especialistas em representações ou visualizações para argumentar, discutir e explicar fenômenos químicos (nível 5).

O primeiro nível, com uso descritivo, ocorre quando a pessoa gera representações do fenômeno com base apenas em suas características físicas, ou seja, a representação é uma representação de similaridades e icônica do fenômeno em um ponto no tempo. O nível de uso simbólico é caracterizado quando a pessoa gera representações do fenômeno com base em suas características físicas, mas também inclui alguns elementos simbólicos para

acomodar as limitações do meio, como setas para representar uma causa observável. O nível de uso sintático dá-se quando a pessoa gera representações do fenômeno ou faz conexões de representações diferentes com base em características físicas observadas e entidades ou processos subentendidos não observados, com ênfase na sintaxe de uso em vez do significado da representação. O nível de uso semântico caracteriza-se quando a pessoa usa corretamente um sistema de símbolos formais para representar entidades e processos subjacentes e não observáveis e faz conexões em duas representações diferentes ou transforma uma representação em outra com base no significado compartilhado das diferentes representações e seus recursos; a pessoa usa espontaneamente representações para explicar um fenômeno, resolver um problema ou fazer uma predição. No quinto nível, o uso argumentativo, a pessoa usa uma ou mais representações para explicar a relação entre propriedades físicas e entidades e processos subjacentes, seleciona a representação mais apropriada para uma situação particular e explica por que razão essa representação é mais apropriada do que outra (Kozma & Russell, 2005).

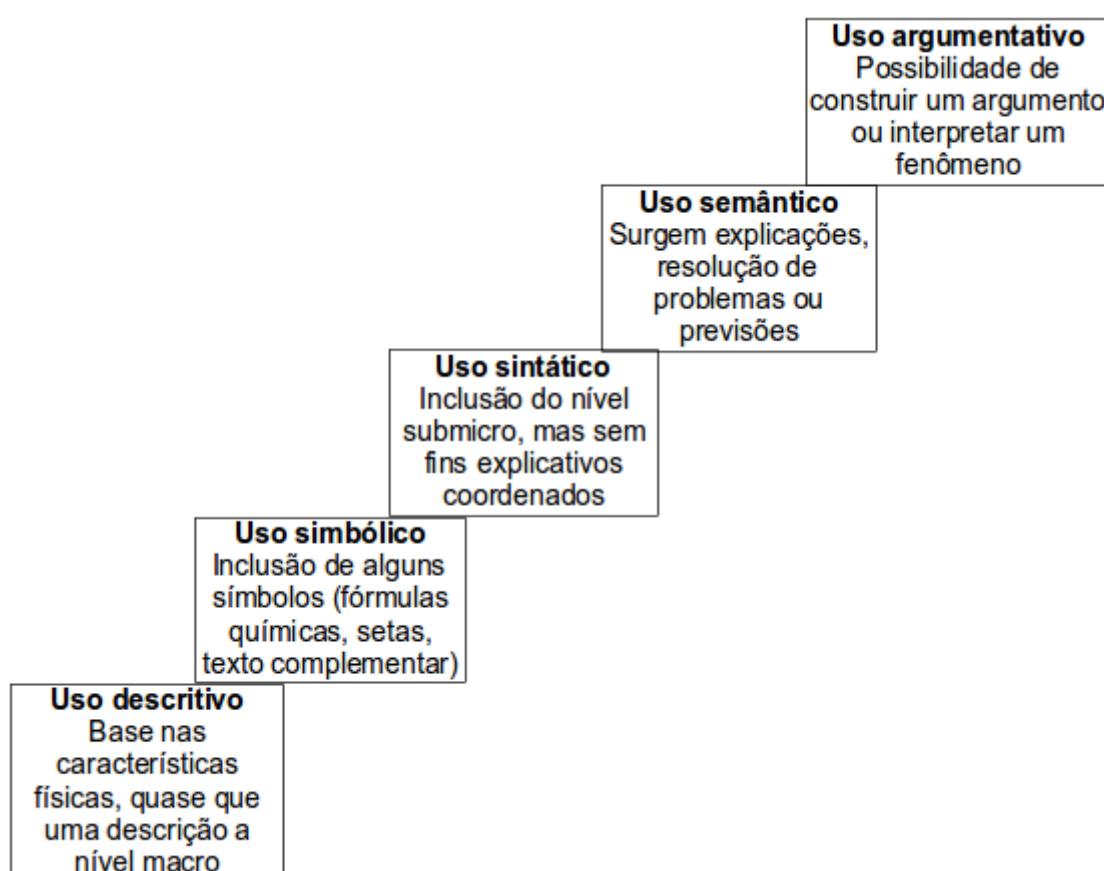
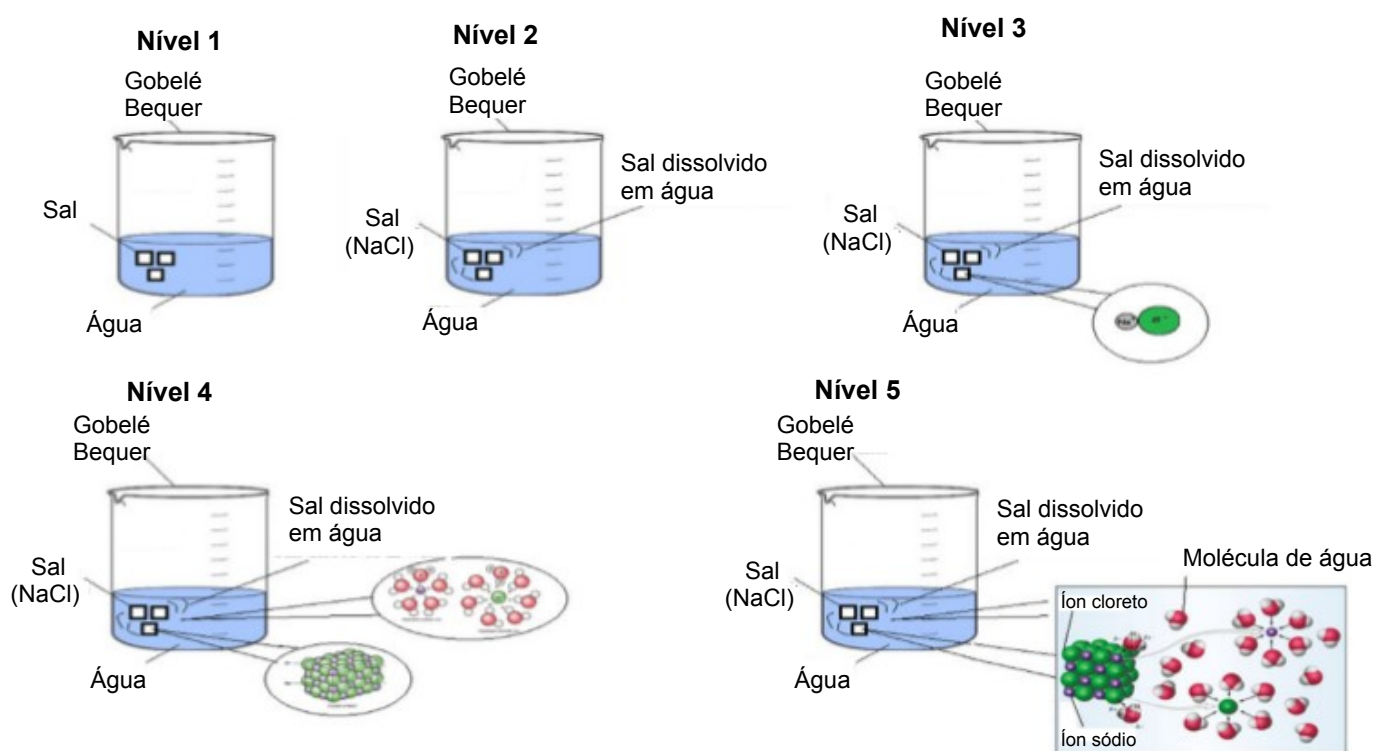


Figura 2.9 Níveis de competência representacional

Kozma e Russell (2005) não defendem que o desenvolvimento seja automático ou uniforme. Muito possivelmente, uma pessoa pode exibir comportamentos associados a um nível superior (nível 3) em um contexto e outros que são codificados em um nível inferior (nível 2) em outro contexto. Diferentes níveis de desenvolvimento podem ser exibidos com diferentes sistemas de símbolos formais ou representações. Uma pessoa pode ser mais competente e mostrar habilidades de nível superior com um sistema específico (e.g. equações químicas) do que outra (e.g. gráficos). No entanto, ao longo do tempo e com orientação adequada, o aluno poderá avançar em suas habilidades, internalizá-las e integrá-las na prática regular.

Shehab e BouJaoude (2017) exemplificam estes cinco níveis com representações possíveis para o fenômeno de dissolução de sal em água (Figura 2.10).



**Figura 2.10 Ilustração dos cinco níveis de competência representacional, a partir de Shehab e BouJaoude, 2017, p. 800.**

Os alunos do nível 1 representam o processo apenas com base em suas características físicas. Aqueles que se situam no nível 2 representam o processo, incluindo alguns elementos simbólicos, como a fórmula NaCl e algum texto explicativo. Os do nível 3

representam o processo com base em características físicas observadas e entidades não observadas; no entanto, sem uma conexão clara entre os dois – a relação entre o NaCl como um símbolo e o NaCl como uma unidade submicro não é realçada para servir para fins explicativos. Aqueles que se situam no nível 4 representam o processo adequadamente com base em características físicas observadas e entidades não observadas. Podem surgir diagramas explicativos corretos neste nível e os alunos empregarão espontaneamente o diagrama mostrado a esse nível para explicar um fenómeno, resolver um problema ou fazer uma previsão. Finalmente, os alunos do nível 5 representam a natureza dinâmica do processo, destacando o vínculo entre as características físicas observadas e as entidades não observadas ao construir um argumento ou interpretar um fenómeno.

Shehab e BouJaoude (2017) utilizaram o esquema de classificação de competência representacional proposto por Kozma e Russell na avaliação de sete livros usados no ensino secundário de escolas do Líbano. Relataram que a maioria das representações enfatiza o nível macro, sendo ambíguas, sem referência ou conexão direta entre o texto e a representação, com legendas que não são claras ou ausentes, e sem conexões entre os diferentes níveis de representação. Com base nestes dados, argumentam que os sete livros didáticos analisados não podem servir como recursos efetivos para apoiar os alunos no desenvolvimento da competência representacional de níveis elevados propostos por Kozma e Russell (2005). Além disso, os livros didáticos não fornecem aos professores diferentes recursos de visualização em diferentes tópicos de química e não familiarizam os alunos com a noção de que um fenómeno químico pode ser apresentado usando diferentes tipos de visualizações ou ligando visualizações em diferentes níveis de representação.





## **CAPÍTULO III**

### **DESCRIÇÃO DO MATERIAL DIGITAL DE APRENDIZAGEM**

### 3.1 Escolha do assunto

O assunto “Gases reais” adequa-se à abordagem de aprendizagem significativa adotada no presente estudo. Por ser um tema pouco ou nada trabalhado no ensino fundamental, permite a observação da aquisição de novos conceitos e a sua relação com conceitos previamente existentes na estrutura cognitiva dos estudantes, provenientes de contactos prévios com temas como natureza particulada da matéria, estados físicos, comportamento dos gases perfeitos e as experiências pregressas de cada aluno.

O termo “gás perfeito” será utilizado em preferência a “gás ideal”, salvo quando a citação original utilizar o segundo termo, que será respeitado.

Em 1850, Rudolf Clausius, físico alemão, avaliou as condições em que o gás pode ser considerado perfeito e, quando os gases são tratados como tal, assumiu a existência de condição ideal. Em 1864, Clausius introduziu ainda o termo “gás ideal” para descrever o comportamento do gás sob estas condições limitantes (Jensen, 2003).

Atkins & de Paula (2006) argumentam que o termo “gás perfeito” é preferível ao “gás ideal”, mais comum. Baseiam-se na seguinte distinção: em um gás perfeito não há forças que atuem entre moléculas, enquanto em soluções ideais há interações, mas a energia média das interações A – B na mistura é a mesma que a energia média das interações A – A e B – B nos líquidos puros.

Rowlinson (2010) utiliza a definição de que um gás perfeito é aquele que satisfaz a lei de Boyle em todas as temperaturas e a lei de Charles (ou Gay-Lussac) em todas as densidades, ou seja, o produto de pressão e volume é proporcional ao produto da quantidade de gás e sua temperatura, medida na segunda escala de temperatura absoluta de William Thomson.

Privat *et al.* (2016), preocupados em diferenciar mistura de gás perfeito, solução ideal de gás e solução de gás real, cientes de que a multiplicidade das definições pode ser fonte de confusão para estudantes, adotam o pressuposto de que gases que obedecem à lei macroscópica  $pV_m = RT$  (com  $p$ , a pressão;  $V_m$ , o volume molar;  $T$ , a temperatura e  $R$ , a constante de gás) devem sempre ser chamados de gases perfeitos em vez de gases ideais. Reconhecem, no entanto, que o termo gás perfeito é raramente usado em livros de referência de termodinâmica, com poucas exceções.

O assunto dos gases tem uma grande importância dentro da história da ciência e assume relevância nos currículos dos cursos de química.

Toda a riqueza de conhecimento a respeito dos gases foi um somatório de esforços de vários pensadores e pesquisadores ao longo da história, com grande avanço do pensamento científico (Mattson, 2015; Porto, 2013; Camel & Filgueiras, 2013; Brush, 2004).

Niaz (2000) destaca dois momentos distintos, do ponto de vista epistemológico, nesta trajetória do estudo dos gases: inicialmente por indução e posteriormente com idealização. A postulação original das leis dos gases ideais (1660 em diante), feita com base nos dados experimentais e manipulação de variáveis particulares (pressão, volume, temperatura e quantidade de matéria), a partir de observações de Boyle, Charles, Gay-Lussac e outros, pode ser considerada como um processo indutivo. O principal contributo dos cientistas da teoria cinética (Clausius, Maxwell e Boltzmann, entre outros) foi ter ultrapassado estas leis e prever as propriedades internas dos gases. O desenvolvimento posterior da lei, baseado na teoria cinética de Maxwell e Boltzmann (1860 em diante), aproxima-se, de alguma forma, de idealização científica.

A importância da idealização na ciência é destacada por Matthews (1992) e é um marco divisor entre a ciência aristotélica e a ciência newtoniana, com uma diferença entre os objetos do mundo real e os objetos teóricos da ciência. Dentro da revolução epistemológica lançada por Galileu e Newton, as questões filosóficas relativas à idealização e à abstração em ciência lançam luz sobre as diferenças entre as concepções sobre objetos materiais e as concepções no que tange à visão que a nova ciência tem desse mundo real. É importante, então, para os estudantes que estão sendo apresentados ao mundo da ciência, serem capazes de reconhecer as implicações das idealizações e de entender como a ciência, em determinadas situações, capta o mundo real.

A elaboração do material levou em consideração a existência destes dois mundos, o mundo dos objetos e eventos e o mundo das teorias e modelos, que, segundo Mortimer *et al.* (2005), podem ser reconhecidos no discurso da sala de aula. Estes autores destacam a importância da modelagem na forma de funcionamento da física e da química. Os modelos não são construídos a partir da percepção direta das coisas, mas a partir de teorias pré-existentes, as quais orientam nossa percepção ao fornecer as lentes que dão significado aos eventos e objetos do mundo físico.

Niaz (2000) considera plausível sugerir que a resolução de problemas de gás com base na lei dos gases ideais, derivada pelo processo indutivo, requer principalmente a

manipulação das diferentes variáveis da equação ( $PV = nRT$ ) e, portanto, pode ser caracterizada pelo modo algorítmico, enquanto a resolução de problemas de gases a partir da teoria cinética de Maxwell e Boltzmann requer a compreensão de um modelo (padrão) dentro do qual os dados aparecem inteligíveis.

Niaz (2000) discute, também, a contribuição de van der Waals. Este químico argumentou que as forças intermoleculares representavam uma propriedade do modelo molecular e, portanto, com efeito apreciável na fase gasosa. Sua principal contribuição foi reduzir os pressupostos para incluir a continuidade das forças intermoleculares, o que facilitou a transição de gases ideais para gases reais. As novas previsões foram encontradas em bom acordo com a experiência.

Além disso, o assunto dos gases está muito associado a concepções alternativas observadas em alunos e professores, expressão que aqui se refere, de acordo com Ozmen (2004), a qualquer conceito que difere do conhecimento científico geralmente aceite do termo.

Kibar *et al.* (2013) destacam vários estudos em educação de ciências relacionados com a compreensão dos estudantes em relação aos gases (conceitos, propriedades, estrutura) e às concepções alternativas referentes ao assunto. Destacam o caráter desafiador para a aprendizagem dos alunos devido à natureza abstrata e a dificuldade para relacionar os níveis macro e submicro.

Liang *et al.* (2011), em estudo de ensino dos gases, observaram muita dificuldade, por parte dos alunos, em compreender o modelo de partículas e de distribuição dos gases. Os estudantes interpretaram o comportamento das partículas no mundo submicroscópico a partir de suas experiências no mundo macroscópico real e apresentaram dificuldade em utilizar um modelo consistente para responder a todas as perguntas.

Liang *et al.* (2011) expõem que as representações descritivas ou pictóricas em livros didáticos atuais podem não explicar a natureza dinâmica e aleatória de partículas de maneira precisa ou suficiente ou podem apresentar aos alunos mais concepções alternativas sobre a distribuição de partículas de gás. Lin & Cheng (2000) revelaram que professores e alunos apresentaram concepções alternativas similares de gases. Isso deve servir para lembrar aos educadores de ciência que os programas de treinamento (formação e aperfeiçoamento) devem enfatizar a importância da resolução de problemas conceituais e oferecer oportunidades para que os professores possam esclarecer seus conhecimentos.

## 3.2 Usabilidade

O termo “usabilidade” faz parte do vocabulário técnico da Ciência da Computação na área de Interação Humano-Computador (IHC) (Francisco & Benitti, 2014).

De acordo com a ISO 9241-11 (1998), usabilidade corresponde a quanto um produto pode ser usado por usuários especificados para atingir metas especificadas, com eficácia, eficiência, satisfação e em um contexto de uso especificado. Por eficácia entende-se a precisão e integridade com a qual os usuários alcançam metas especificadas; eficiência refere-se a recursos gastos em relação à precisão e completude com que os usuários alcançam objetivos e satisfação diz respeito a atitudes positivas e ausência de desconforto em relação ao uso do produto.

A usabilidade é um importante aspecto a ser levado em conta na criação de material digital, pois problemas como sobrecarga perceptiva, cognitiva ou física tem consequências sobre sua tarefa. Para evitar esses problemas, são usadas técnicas de avaliação para medir a eficiência, eficácia, satisfação e localizar os pontos de possíveis melhorias (Francisco e Benitti, 2014).

Okumuş *et al.* (2016) ressaltam a importância do nível de conforto dos professores com o uso das ferramentas de *software* adotado e como isso influencia a percepção de facilidade de uso e a compreensão das capacidades de alinhamento com os objetivos curriculares e de ensino.

Para a elaboração do material digital, foram consideradas questões tanto de usabilidade técnica quanto pedagógica.

De acordo com Nielsen (2003), a usabilidade técnica pode ser abordada através de cinco diferentes componentes:

- Fácil de aprender: é fácil para os usuários realizar tarefas básicas na primeira vez que encontram o projeto?
- Eficiente: uma vez que os usuários tenham aprendido o projeto, com que rapidez podem realizar tarefas?
- Fácil de memorizar: quando os usuários retornam ao projeto após um período sem o usar, com que facilidade podem restabelecer proficiência?

- Pouco sujeito a erros: quantos erros fazem os usuários, como são esses erros e com que facilidade podem recuperar dos erros?
- Agradável de utilizar: quão agradável é usar o *design*?

As questões relativas à usabilidade pedagógica apontam para os dez critérios de usabilidade pedagógica de Nokelainen (2006). A classificação das questões aplica-se para os critérios abaixo:

1. Controle do aluno: observar a sobrecarga da memória do aluno, para evitar que os materiais sejam mal divididos.
2. Atividade do aluno: quando existe uma boa didática, a atividade individual do aluno pode ser melhorada e, portanto, aumentada.
3. Aprendizagem colaborativa/cooperativa: o aluno poder estudar com outros aprendizes para alcançar as metas de aprendizagem em comum.
4. Orientação para objetivos: deixar evidente para os aprendizes quais são suas metas e os objetivos de aprendizagem a serem alcançados.
5. Aplicabilidade: o conteúdo do material deve corresponder às habilidades que o aluno necessitará de maneira prática em sua vida. Procurar transferir o conhecimento e as habilidades do aluno para outros contextos.
6. Valor agregado: normalmente, é adicionado através do uso criativo das possibilidades disponibilizadas pelo computador, por meio de áudio, imagens, vídeo, de acordo com a necessidade do aluno.
7. Motivação: o material deve apresentar conteúdos e funções interativas de modo a manter os alunos motivados, proporcionar criatividade, pensamento crítico e aprendizagem ativa.
8. Avaliação do conhecimento prévio: respeitar o conhecimento prévio do aprendiz, observar suas diferenças individuais de conhecimento e habilidades e oferecer a revisão de conteúdos anteriores necessários à aprendizagem do conteúdo atual.
9. Flexibilidade: oferecer facilidade para o usuário operar e manter o sistema.
10. *Feedback*: oferecer ao aluno um *feedback* imediato e incentivador para aumentar sua motivação e para ele entender os problemas em sua aprendizagem.

Para Nokelainen (2006), na essência, os critérios de usabilidade pedagógica devem abordar se o material de aprendizagem permite que o aluno e o professor alcancem seus objetivos. E, para isso, é importante que as dimensões da usabilidade técnica e pedagógica estejam associadas.

Pinto (2009) pondera que a avaliação de um *site* não é uma ciência exata; no entanto, a sua avaliação fará com que este tenha mais sucesso junto dos alunos e estes o utilizem como complemento à sua formação.

Abreu (2010) esclarece que podem ser utilizadas diferentes abordagens de teste de usabilidade, de acordo com os objetivos, tempo e recursos necessários: desde testes de grandes tamanhos de amostra e de modelos complexos a estudos qualitativos informais, com apenas um único participante.

Utilizaram-se, então, técnicas preditivas/analíticas, que, de acordo com Francisco e Benitti (2014), não necessitam da participação do usuário e que podem ser aplicadas por avaliadores experientes, baseadas nos conhecimentos e experiências dos avaliadores e em modelos formais. Considerou-se a avaliação heurística, técnica de inspeção que envolve especialistas da área, e a inspeção cognitiva, cujo objetivo básico é a avaliação das condições que o *software* oferece para que o usuário tenha uma rápida aprendizagem das telas.

A avaliação de usabilidade da primeira versão do material foi feita com a utilização de questionário e participaram quatro professores de química com ampla experiência de sala de aula, sendo que dois destes professores também eram especialistas na área de ferramentas multimídia. A partir da análise feita, algumas alterações foram implementadas e chegou-se à versão final para intervenção com os alunos.

### **3.3 Recursos multimídia**

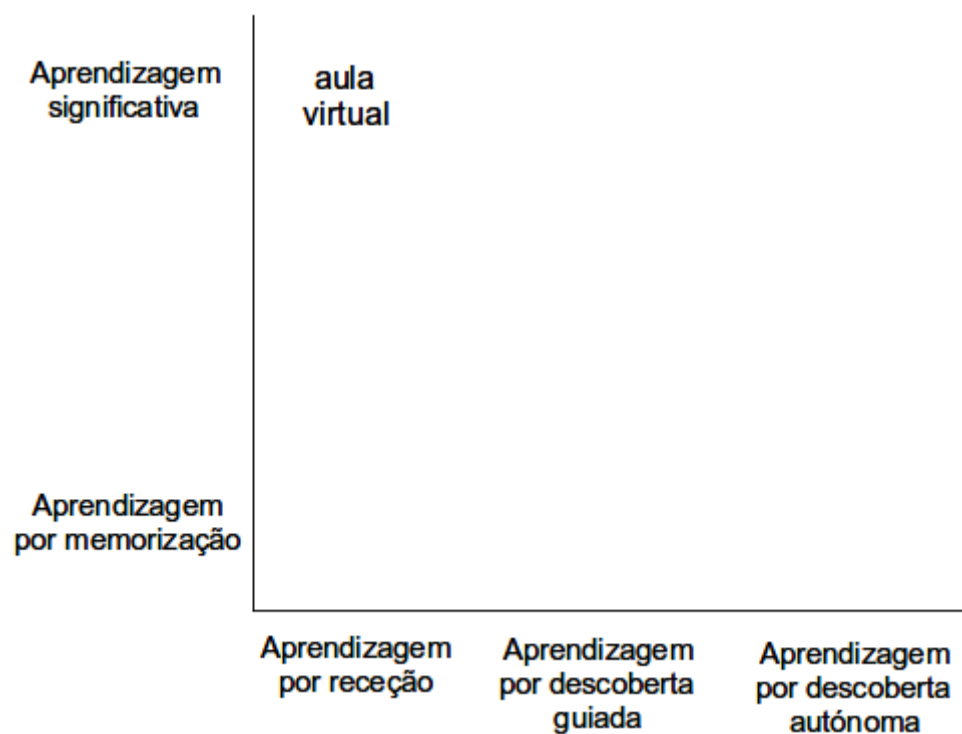
#### **3.3.1 Definições e informações**

É utilizada, neste estudo, a expressão “material digital de aprendizagem”, que, de acordo com Nokelainen (2006), significa todo o material concebido para fins educacionais,

publicado em formato digital e destinado a ser acedido por computador. Neste estudo, o material digital foi caracterizado como uma aula virtual, que se refere a período estruturado de tempo destinado a abordar um determinado assunto ou atividade e que está disponível em um ambiente virtual de aprendizagem.

O material digital de aprendizagem foi concebido de acordo com as recomendações de usabilidade técnica (Nielsen, 2003) e usabilidade pedagógica (Nokelainen, 2006) e com o objetivo de ser um material potencialmente significativo (Ausubel, 2000).

De acordo com a proposta de Novak e Gowin (1996) de considerar-se o tipo de estratégia de instrução que se utiliza e o tipo de processo de aprendizagem em que o estudante se insere, o material digital de aprendizagem foi concebido para uma aprendizagem significativa e por receção (Figura 3.1)



**Figura 3.1** Classificação do material quanto às possibilidades de aprendizagem em relação aos tipos de estratégia de instrução e processos de aprendizagem.

O material foi preparado para utilização pelo aluno fora do horário de aula, no laboratório de informática da escola ou em casa, a partir de computador ou telemóvel. O utilizador deve estar conectado à internet para aceder ao conteúdo, mas também pode fazer



o descarregamento dos arquivos e trabalhar *offline*. Uma das vantagens advindas do uso fora do horário das aulas é que, segundo Pires e Veit (2006), se aumenta virtualmente a carga horária da disciplina e se promove uma extensão da sala de aula.

A duração desejada para que aluno possa trabalhar o assunto foi estipulada em 50 minutos, que é o padrão de tempo de uma aula estabelecido pelo projeto pedagógico da escola onde foi aplicado o estudo.

Utilizou-se o KompoZer versão 0.8b3, multiplataforma, disponível para Linux, MacOS e Windows. Este *software* permite criar páginas e publicá-las na Web. Não é necessário saber HTML (abreviação para a expressão inglesa *HyperText Markup Language*, que significa Linguagem de Marcação de Hipertexto), pois a edição do código HTML é gerada visualmente. Neste ponto, assemelha-se a usar um processador de texto. Os botões da barra de ferramentas permitem a adição de listas, tabelas, imagens, *links* para outras páginas e a mudança de cores e estilos de fonte. O utilizador pode ver como o documento será exibido na Web à medida que ele é criado.

Na confeção do material, houve a preocupação de utilizar o mínimo de recursos adicionais, para evitar problemas no carregamento da página e para concentrar naqueles expedientes considerados fundamentais para a proposta do trabalho. A intenção foi criar um ambiente simples e amigável, para que professor e aluno pudessem sentir-se familiarizados desde o primeiro contacto. Okumuş *et al.* (2016) reforçam que a percepção do professor acerca da utilidade e facilidade de uso do material é fundamental para sua decisão de utilizá-la.

Optou-se por não utilizar ligações para páginas exteriores ao material (ligações externas). Tal medida justificou-se para garantir que o aluno pudesse dedicar o seu tempo a percorrer o máximo do material, e evitar, assim, alguma dispersão frente a intermináveis caminhos. Buscou-se evitar, conforme Paiva e Costa (2010) alertaram, que o aluno passasse pelo material de forma irrefletida e apressada, mas sem comprometer o que Peres *et al.* (2014) preconizam para as atuais tecnologias, como a criação de percursos flexíveis de aprendizagem, adaptados a diferentes estilos e ritmo individuais.

Atenção especial foi dada a algumas características desejáveis destacadas por Paiva e Costa (2010): ter linguagem clara e simples, adequar comprimento e propósitos, desafiar os alunos com bom senso e estimulá-los a observar, ponderar e antecipar, estar ajustado à idade e nível cognitivo dos alunos.

O material foi elaborado para ser acedido *online* via internet e, também, ser

descarregado para uso *offline*, além de ser compatível com o sistema operacional Android, que permite o acesso via telemóvel, o que garante uma flexibilização de tempo e lugar, importante segundo Peres *et al.* (2014).

Guiado pela proposta de Zhao *et al.* (2002), atenção especial foi dada para que o material digital de aprendizagem estivesse mais próximo da prática escolar existente, da prática dos professores e dos recursos tecnológicos disponíveis, uma vez que já era corrente o uso de um ambiente virtual de aprendizagem na escola, com uso de tecnologia já conhecida pelos professores. A dependência de outras pessoas e recursos é pequena, pois o *software* é fácil de utilizar e de livre acesso. Em termos de contexto, o colégio onde o material foi aplicado dispõe de laboratório de informática suficiente para atender às necessidades da inovação. Quanto aos alunos, norteados por Groff e Mouza (2008), os fatores associados à população estudantil não foram negligenciados, principalmente com a questão de o material se aproximar da prática estudantil, pelo uso do ambiente virtual de aprendizagem que já era de conhecimento dos alunos.

Foram elaboradas quatro aulas virtuais: material tradicional (1), material contendo multirrepresentação (2), material contendo ciclos de interação (3) e material contendo ciclos de interação e multirrepresentação, simultaneamente (4).

O material digital de aprendizagem abordado aqui será o referente à aula 1, que foi tratado como um material tradicional, que muito se assemelha a um capítulo de livro ou manual que tenha sido transposto para o meio digital. As demais aulas (2, 3 e 4) foram estruturadas a partir da aula 1 com as alterações referentes às inovações propostas. Estas aulas e as inovações propostas (ciclos de interação e multirrepresentação) serão abordadas no capítulo V – Apresentação e discussão dos resultados, quando será analisada a possibilidade de uso desses recursos.

O conteúdo de química foi elaborado a partir de Tro (2015), Chang & Goldsby (2011), Petrucci *et al.* (2011), Levine (2009), Mortimer (2008), Barker (2007), Atkins & de Paula (2006), Engel & Reid (2006), Brown *et al.* (2004), Alcañiz (2003) e Castellan (2001).

A aula foi dividida em seis telas: Apresentação, Gases reais, Desvios de comportamento, Fator de compressibilidade, Equação de van der Waals e Referências bibliográficas. De acordo com Nokelainen (2006), deve-se evitar que o material seja mal dividido, para não ser muito superficial e fracionado, mas também evitar a sobrecarga do aluno.

A movimentação entre telas ocorre a partir de *links* do tipo: Página inicial, Voltar e

Próxima e, dentro de uma tela, a rolagem é através das teclas das setas, através da barra lateral ou *scroll*.

### 3.3.2 Tela Apresentação

Pode ser acedida através do endereço onde estiver hospedada, através do *link* indicado no ambiente virtual de aprendizagem ou através do arquivo html correspondente, em modo *offline*.


Consiste em uma tela de apresentação do material (Figura 3.2). Deixa claro que a proposta é complementar o estudo sobre gases e convida o aluno a fazer uma leitura do material, que está de acordo com a proposta de aprendizagem por recepção. No entanto, chama a atenção para a existência de *links* para aprofundar ou reforçar o assunto, o que deixa em aberto a possibilidade de interação com o material.

## Gases Reais

**Bem-vindo!**

Este material foi criado para complementar seus estudos sobre gases, que é um importante tópico da Química.

Basta aproveitar a leitura e navegar entre as páginas. Em alguns momentos, você terá alguns links disponíveis para aprofundar ou reforçar o conteúdo.



Dica de estudo: durante a interação com o material, faça anotações dos principais conceitos, dos gráficos que lhe chamaram a atenção e de algumas explicações que tenha considerado importantes. No final, você terá um bom resumo do assunto! Se for o caso, anote também aquelas partes que você não entendeu muito bem, que é para depois você tirar suas dúvidas.

Obrigado por se disponibilizar a participar da pesquisa!

**Boa viagem!**

[Iniciar](#)

Figura 3.2 Tela de apresentação do material digital de aprendizagem.

A tela traz uma dica de estudo para o aluno fazer anotações dos principais conceitos, dos gráficos e de algumas explicações, que podem ser reunidas em um resumo do assunto,

ou servir como roteiro para elucidar possíveis dúvidas.

Paiva e Costa (2010) destacam que é interessante que os usuários mantenham registros escritos da exploração, manuscritos em papel ou em um arquivo de computador. Os registros escritos de suas observações e conclusões, seja em papel ou em formato digital, são uma maneira de retardar cliques mecânicos e exploração apressada, e força os alunos a observarem de perto as atividades e o conteúdo do programa. Quando os alunos são obrigados a gravar, terão tempo para pensar e são mais propensos a assumir um papel ativo, em vez de serem meros espectadores da tela do computador. Quando escrevem uma ideia ou descrevem uma observação, os alunos refletem sobre ela.

Assim como o incentivo do engajamento emocional é um dos objetivos apontados por Scott *et al.* (2011) para o estabelecimento de conexões entre o professor e os alunos, esta tela apresenta um forte apelo neste sentido, favorecendo o estabelecimento de conexões entre o material e o aluno.

### **3.3.3 Tela Gases Reais**

Esta tela (Figura 3.3) e todas as seguintes iniciam-se com a apresentação dos objetivos. Utiliza-se uma linguagem adequada e, como apontado entre as questões relativas à usabilidade pedagógica por Nokelainen (2006), deixa evidente para os aprendizes quais são os objetivos de aprendizagem a serem alcançados. A enumeração dos objetivos funciona, também, como um orientador à elaboração do material e permite verificar se, no final, o conteúdo está adequado aos objetivos propostos e se existe coerência entre os objetivos e as atividades que são apresentadas.

A introdução traz uma contextualização do assunto. Assim como Silva e Mortimer (2010) preconizam para um professor, o material também tem intenções, que correspondem a metas que se encontram presentes no momento da elaboração do roteiro e seleção de atividades que serão propostas aos alunos. Neste caso, a intenção do material é guiar os estudantes na aplicação das ideias científicas e na expansão de seu uso. Conforme proposto por Mortimer e Scott (2002), esta intenção é uma das maneiras através das quais é possível interagir com alunos para promover construção do significado em aulas de ciências na escola secundária.

Esta opção também vai ao encontro do questionamento levantado por Cambrón e Macías (2015) de fomentar um ensino secundário menos transmissivo e mais comunicativo, desenvolvendo no aluno a capacidade de se apropriar dos conteúdos, de transformá-los e aplicá-los em uma variedade de contextos.

## Gases Reais

**Objetivos:** revisar gases perfeitos; apresentar o comportamento dos gases reais, os fatores que influenciam este comportamento e uma forma de modelar este comportamento.

### Introdução

Muitas substâncias importantes para a vida e no nosso dia a dia encontram-se no estado gasoso: os componentes da atmosfera, alguns combustíveis (como o hidrogênio, metano, butano), propelentes de aerossóis, gases anestésicos. Em relação à tabela periódica, 12 são os elementos encontrados na natureza no estado gasoso.

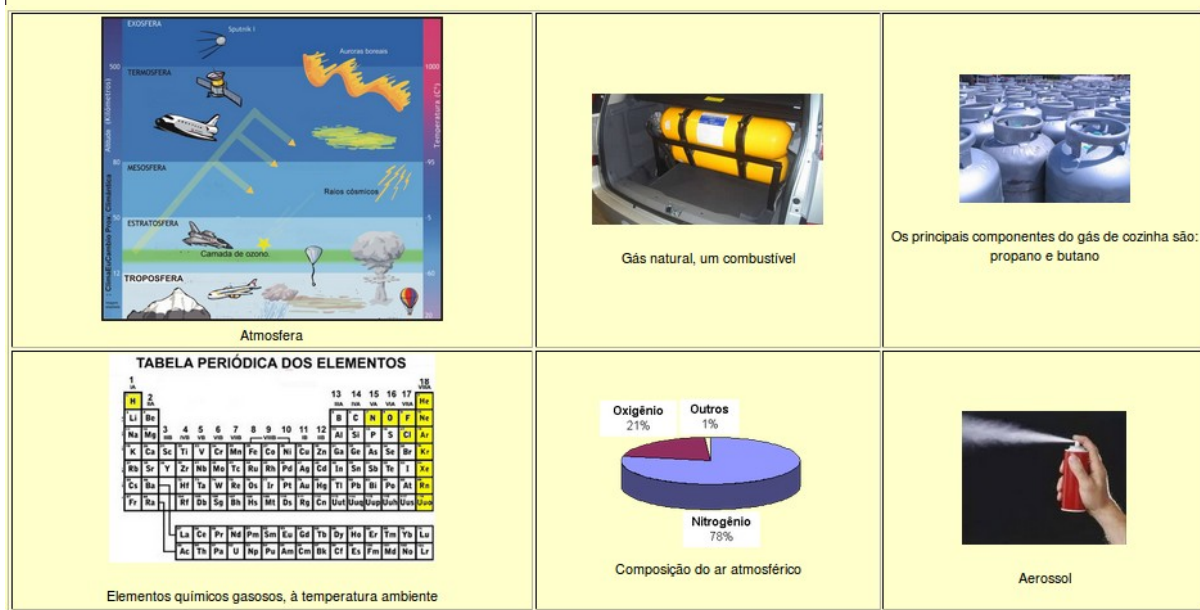


Figura 3.3 Tela Gases Reais / Introdução.

Neste ponto, o material estimula a reflexão do aluno, que poderá buscar exemplos de sua própria experiência. Busca-se um material potencialmente significativo, com condições para que novas informações se relacionem, de maneira não arbitrária e não literal, com a

estrutura cognitiva do aprendiz e que haja mais de uma voz a ser considerada na construção de sentidos.

O uso de imagens relacionadas com os gases, como representação identificável de dado registro, e que é uma das três atividades cognitivas fundamentais, tem o objetivo de diversificar o modo discursivo, e segundo Laburú *et al.* (2011) amplia a possibilidade de estabelecer relações entre o perfil de aprender de cada sujeito e certos modos representacionais que melhor se acomodem a ele.

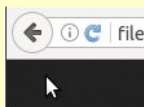
As representações condizem com os dois primeiros níveis da classificação proposta por Kozma e Russell (2005), com descrições a nível macro e inclusão de alguns símbolos.

Ainda nesta tela (Figura 3.4), há um momento destinado a rever a teoria cinético-molecular, importante por resgatar conceitos que serão utilizados no decorrer das outras telas. É uma maneira de permitir que os alunos tenham a possibilidade de resgatar alguns pressupostos importantes e atender a uma questão relativa à usabilidade pedagógica proposta por Nokelainen (2006), que é oferecer a revisão de conteúdos anteriores necessários à aprendizagem do conteúdo atual. Além disso, entra no mundo das teorias e modelos (Mortimer *et al.*, 2005), importante para a resolução de problemas de gases que requerem a compreensão de um modelo (padrão) dentro do qual os dados aparecem inteligíveis (Niaz, 2000).

**Teoria cinético-molecular**

a maior parte de um gás é espaço vazio	as moléculas de um gás estão em movimento rápido e aleatório
as moléculas de um gás não sofrem forças de suas moléculas vizinhas	há uma distribuição de velocidades moleculares e a energia cinética média de todas as moléculas é proporcional à temperatura absoluta.

**Atividade:** você se lembra de como se comportam as partículas no estado gasoso quando há variação na pressão, temperatura ou quantidade de matéria? Faça algumas representações de um gás sob aumento de pressão, aumento de temperatura, aumento da quantidade de partículas e depois [assista a uma simulação mostrando algumas destas variações](#).



Depois, para retornar: clique em cima, à esquerda

**Figura 3.4 Tela Gases Reais / Teoria cinético-molecular.**

Na sequência, disponibiliza-se o acesso a uma simulação. Dentro das questões relativas à usabilidade pedagógica por Nokelainen (2006), recomenda-se o uso criativo das

possibilidades disponibilizadas pelo computador, de acordo com a necessidade do aluno, e apresentar conteúdos e funções interativas de modo a manter os alunos motivados, proporcionar criatividade, pensamento crítico e aprendizagem ativa.

Paiva e Costa (2010) ressaltam a importância de oferecer sugestões para ações e reflexões. Neste sentido, o material tenta ativar conhecimentos pré-existentes do aluno e propõe que o aluno faça representações de diferentes situações para depois assistir a uma simulação, o que poderá ajudá-lo a refinar a formulação de concepções científicas. Corresponde ao que Silva e Mortimer (2010) propõem como uma intenção de guiar os estudantes no trabalho com as ideias científicas, neste caso no mundo das teorias e modelos, e dar suporte ao processo de internalização.

Esta abordagem está de acordo com a sequência discutir/trabalhar/rever. Apresenta a teoria cinético-molecular, propõe ao aluno fazer representações e finaliza com uma simulação para rever e reforçar aspectos importantes do mundo das teorias e modelos. É uma ação no sentido de diminuir a dificuldade, por parte dos alunos, em compreender o modelo de partículas e de distribuição dos gases, destacada por Liang *et al.* (2011), e de favorecer concepções científicas.

### **3.3.4 Tela Desvios de comportamento**

A tela apresenta, no início, alguns exemplos de volumes de gases medidos em determinadas condições (Figura 3.5). Esta discussão situa-se no mundo dos objetos e eventos, pois, segundo Silva e Mortimer (2010), envolve aspectos observáveis e mensuráveis de um determinado sistema em análise.

Observam-se, apoiado por Mortimer *et al.* (2005) e Silva e Mortimer (2010), mudanças dentro do conteúdo do discurso: este inicia-se com exemplos de gases, que é uma descrição do mundo dos objetos e eventos com referentes específicos; generaliza depois para os gases reais, dentro do mundo dos objetos e eventos com uma classe de referentes; introduz a seguir os efeitos da temperatura e pressão, que correspondem ao mundo dos objetos e eventos com referentes abstratos e finaliza com a explicação da relevância das forças intermoleculares e volumes moleculares, que podem ser situados no mundo das teorias e modelos com classes de referentes.

Observe os valores de volumes molares para alguns gases, à 0 °C (273,15 K) e 1 atm (101,325 kPa):

Gás	Volume molar, L mol <sup>-1</sup>		Gás	Volume molar, L mol <sup>-1</sup>
H <sub>2</sub>	22,427		N <sub>2</sub>	22,404
He	22,425		CO <sub>2</sub>	22,263
<b>Perfeito</b>	<b>22,414</b>		C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	22,189

Nestas condições, repare, o volume ocupado por um gás real é ligeiramente diferente daquele esperado para um gás perfeito. Isto porque, nas condições reais, algumas características previstas para o gás perfeito não são respeitadas.

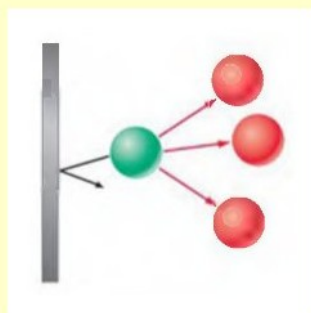
Variando-se a temperatura ou a pressão, esses desvios são mais evidenciados.

A aproximação do comportamento de um gás real ao de um gás perfeito é falha quando temos baixas temperaturas ou altas pressões, porque nestas condições as forças intermoleculares ou os volumes moleculares não são desprezáveis, e desvios significativos do comportamento perfeito são observados.

**Figura 3.5 Tela Desvios de comportamento / Exemplos de volumes molares.**

A tela prossegue com a explicação e apresenta uma imagem caracterizada pelo nível sintático proposto por Kozma e Russell (2005), pois faz representação de um fenómeno com inclusão do nível submicro (representação de moléculas, no caso), inclusão de símbolos (setas), mas sem fins explicativos coordenados (Figura 3.6).

#### Efeito da temperatura



A molécula que está prestes a fazer contato com a parede (cor verde) experimenta as forças de atração de moléculas próximas (cor vermelha). Estas atrações atenuam a força com a qual a molécula atinge a parede. O resultado é que a pressão é mais baixa do que a de um gás perfeito. Estas forças são mais importantes a baixas temperaturas, quando o movimento de translação molecular é mais lento, e o intervalo de tempo no qual as moléculas permanecem próximas é relativamente curto, permitindo interações mais fortes. De fato, a temperaturas suficientemente baixas, as atrações tomam-se bastante fortes para manter as moléculas próximas, e o gás condensa-se.



**Figura 3.6 Tela Desvios de comportamento / Efeito da temperatura.**



Na explicação que sucede a imagem, o texto percorre o caminho inverso ao citado anteriormente, na abertura da tela: parte do mundo das teorias e modelos (moléculas, forças) e retira uma conclusão no mundo dos objetos e eventos (diminuição da pressão, condensação do gás).

A tela finaliza com o uso de representações já no nível de uso semântico, pois usa um sistema de símbolos formais para representar entidades e processos subjacentes e não observáveis e faz conexões em duas representações diferentes para explicar um fenómeno (Figura 3.7).

**Efeito da pressão**

	<p>A baixas pressões, uma parte considerável do recipiente está vazia e o gás pode ser comprimido a volumes menores.</p>		<p>À medida que a pressão aumenta, o espaço entre as moléculas torna-se cada vez menor. O volume do sistema é apenas ligeiramente maior que o volume total das moléculas.</p>
--	--	--	---

Quando o gás é comprimido, as partículas desse gás começam a ocupar uma parte significativa do volume total do gás. As moléculas ocupam um volume finito e, por conseguinte, um gás verdadeiro não pode ser comprimido até um volume menor do que o total do volume molecular.

[Página inicial](#) [Próxima](#)

**Figura 3.7 Tela Desvios de comportamento / Efeito da pressão.**

Aqui, a explicação parte do mundo dos objetos e eventos (compressão do gás), transita pelo mundo das teorias e modelos (moléculas) e retorna para uma conclusão no mundo dos objetos e eventos (compressão finita do gás).

### 3.3.5 Tela Fator de compressibilidade

A tela inicia com uma questão, que é uma tentativa de resgatar a base conceitual dos

alunos e favorecer o movimento no sentido da construção de novas concepções que serão desenvolvidas na sequência (Figura 3.8). Corresponde, também, a um objetivo de promover a continuidade, conforme destacado por Scott *et al.* (2010), ao estabelecer um elo entre diferentes pontos no tempo.

Apresenta-se a equação de estado ( $PV = nRT$ ), atribui-se valor ( $n = 1$ ), rearranja-se a equação ( $PV/RT = 1$ ), o que caracteriza uma atividade de tratamento, em que a representação sofre transformações internas ao próprio registro. Segue-se uma generalização dos gases reais para, na sequência, em um movimento de recontextualização com referentes específicos, se fazer a transformação desta representação noutro registro, agora gráfico, o que caracteriza uma conversão, que é uma representação externa ao registro de início.

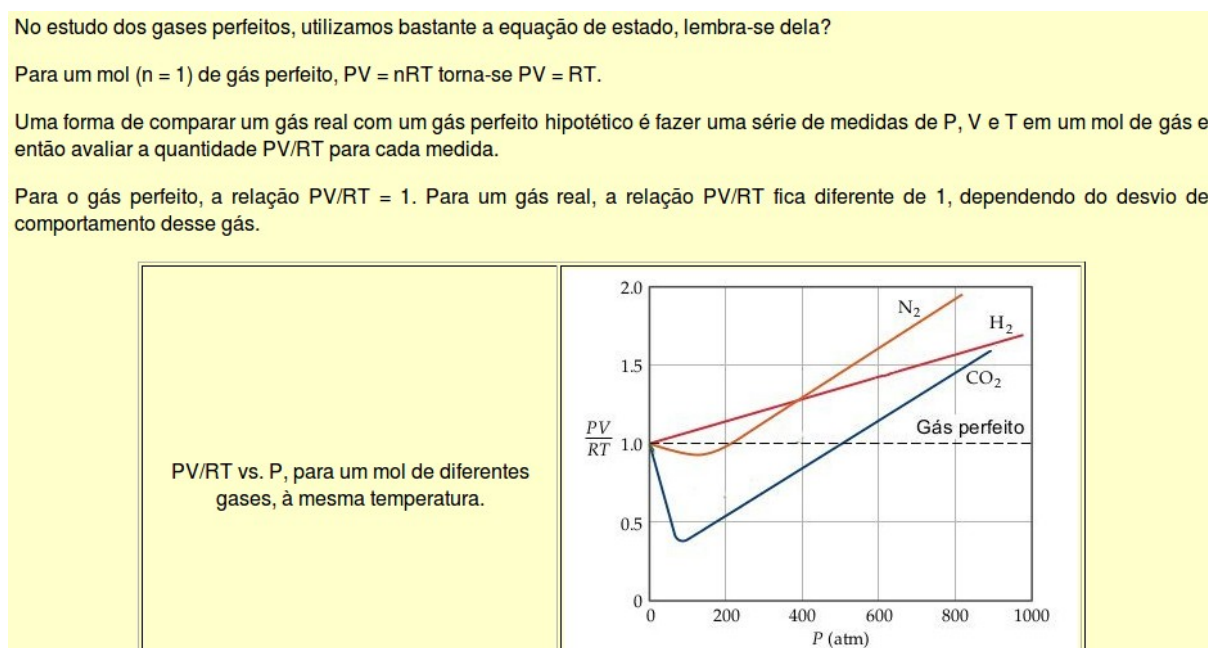


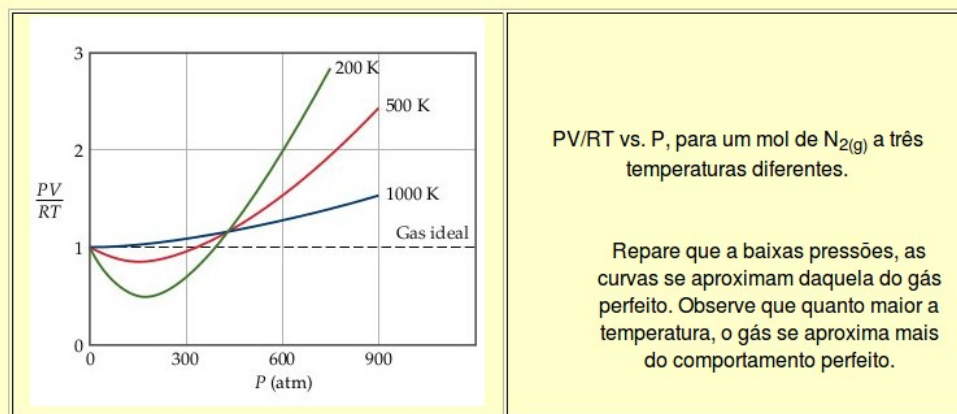
Figura 3.8 Tela Fator de compressibilidade / Relação  $PV/RT$  e comparação entre gases.

A representação, comum em livros de química, caracteriza-se pelo nível de uso semântico (Kozma & Russel, 2005) e faz conexão com a equação de estado.

O gráfico seguinte, no nível de uso argumentativo, explica a relação entre propriedades físicas (Figura 3.9). A partir de um exemplo ( $N_2$ ) do gráfico anterior, o novo gráfico mostra a mudança de comportamento desse gás quando submetido a diferentes temperaturas, o que pode permitir ao aluno visualizar o comportamento em valores

diferentes daqueles apresentados (predição).

A temperatura e a pressão também influenciam no resultado final.



**Figura 3.9 Tela Fator de compressibilidade / Comportamento do gás a diferentes temperaturas.**

A tela finaliza com a formalização do conceito de fator de compressibilidade e estabelece conexões entre resultados obtidos a partir do uso da fórmula com explicações do mundo das teorias e modelos (Figura 3.10). O objetivo, orientado por Niaz (2000), é de que o aluno seja capaz de manipular as diferentes variáveis da equação (modo algorítmico) e resolver problemas de gases a partir da teoria cinética, que requer a compreensão de um modelo dentro do qual os dados aparecem inteligíveis.

A relação  $PV/RT$  é chamada fator de compressibilidade e é indicada por  $Z$ .

Os valores do fator de compressibilidade inferiores à unidade indicam que os desvios de comportamento do gás perfeito se devem principalmente às forças intermoleculares atrativas. Essas forças são mais importantes a baixas temperaturas, quando o movimento de translação molecular é mais lento.

Os valores maiores que 1 aparecem quando o volume das moléculas do gás é uma fração importante do volume total do gás. Isso fica mais aparente a altas pressões, pois as moléculas ocupam um volume finito e, portanto, um gás real não pode ser comprimido até um volume menor do que o total do volume molecular.

[Página inicial](#)  
[Voltar](#)

[Próxima](#)

**Figura 3.10 Tela Fator de compressibilidade / Formalização do conceito.**

### 3.3.6 Tela Equação de van der Waals

A tela inicia com o mundo dos objetos e eventos, ao referir-se às condições de laboratório, e, em seguida, já lança um elo para o mundo das teorias e modelos, ao justificar a necessidade de se incluir novos termos na equação de estudo dos gases reais (Figura 3.11).

Explica a incorporação dos novos termos a partir de aspetos teóricos construídos previamente. A fórmula ainda pode ser utilizada, mas com redução dos pressupostos.

**Objetivo:** apresentar uma equação que se aplique aos gases reais, com as correções de pressão e volume referentes às forças intermoleculares de atração e ao volume das próprias moléculas.

Nas condições mais comuns de temperatura e pressão, em um laboratório, os resultados obtidos para um gás real não diferem muito daqueles esperados para um gás perfeito. Mas quando as condições tornam-se muito diferentes, desvios consideráveis não podem ser desprezados.

Existem várias equações que podem ser utilizados para os gases reais, em uma gama de temperaturas e pressões mais largas do que na equação do gás perfeito. Estas equações não são tão gerais como a equação de gás perfeito e contêm termos que levam valores específicos, diferentes para cada gás. Essas equações devem introduzir a correção do volume associado com o volume das próprias moléculas e as forças intermoleculares de atração. De todas as equações utilizadas pelos químicos para modelar o comportamento dos gases reais, a equação proposta pelo químico holandês van der Waals é a mais simples de se utilizar e interpretar.

$$\left(P + \frac{n^2a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

**a** e **b** são conhecidas como constantes de van der Waals e são diferentes para cada gás. A constante **a** é associada aos desvios provocados pela atração intermolecular e a constante **b** é associada como os desvios provocados pelo volume molecular.

**Figura 3.11 Tela Equação de van der Waals / Apresentação da fórmula.**

A incorporação de perguntas no material (Figura 3.12) tem a intenção de promover a reflexão, no estudo individual, ou a discussão, quando no estudo em grupo, conforme citado por Paiva e Costa (2010).

O material conduz a explicação no sentido de coordenar dois registros de representação (textual e algébrica), sem negligenciar a operação de conversão, aspeto destacado por Duval (2012).

A apresentação da equação de van der Waals situa-se no quinto nível ((Kozma &

Russell, 2005), ao explicar a relação entre termos introduzidos na equação e processos subjacentes.

#### O volume ocupado por um gás real será maior ou menor do aquele considerado para um gás perfeito?

Para um gás perfeito, que consideramos com volume molecular desprezível, o volume do recipiente é o volume disponível para cada molécula, isto é,  $V = V_{\text{ideal}}$ . Em um gás real, as moléculas ocupam um certo espaço, e portanto, o volume disponível ( $V_{\text{ideal}}$ ) é menor que o volume do recipiente. O termo de correção que leva em consideração o volume das moléculas para 1 mol é a constante **b** de van der Waals. Para **n** moles é **nb**. Assim, o volume disponível para um gás real é  $V_{\text{ideal}} = V - nb$ .

#### A pressão exercida por um gás real será maior ou menor do aquela considerada para um gás perfeito?

Em um gás perfeito isto não consideramos o efeito das forças intermoleculares e o bombardeamento molecular nas paredes do recipiente produz a pressão ideal,  $P_{\text{ideal}}$ . Em um gás real, contudo, as moléculas não se chocam tão fortemente com as paredes do recipiente, porque cada molécula é levemente reprimida, ou batem e voltam, pelas atrações das moléculas vizinhas. A  $P_{\text{ideal}}$  é um pouco maior que pressão **P** observada. Esta diferença de pressão depende da densidade molecular e é proporcional ao quadrado da concentração das moléculas, isto é,  $(n/V)^2$ . A constante de proporcionalidade é a constante **a** de van der Waals e, então, podemos escrever assim:  $P_{\text{ideal}} = P + a(n/V)^2$ .

$$\underbrace{\left( P + \frac{n^2 a}{V^2} \right)}_{\text{pressão corrigida}} \underbrace{(V - nb)}_{\text{volume corrigido}} = nRT$$

Figura 3.12 Tela Equação de van der Waals / Explicação das alterações nos termos pressão e volume.

A tela apresenta ao aluno uma tabela com exemplos de diferentes gases, que oferece a possibilidade de o próprio aluno buscar um modelo que explique o comportamento dos valores das constantes **a** e **b** em relação às características das moléculas do gás (Figura 3.13).

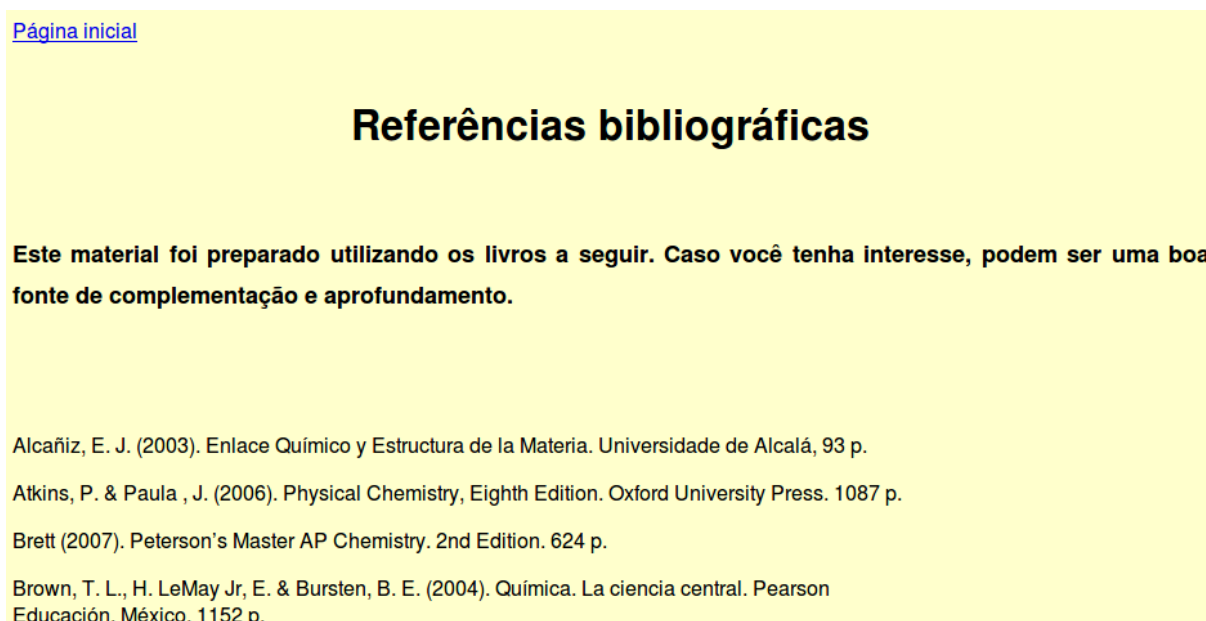
Quanto menores são os valores de **a** e **b**, mais o gás real se assemelha a gás um gás perfeito. Desvios da idealidade, expressos pelo fator de compressibilidade (**Z**), se fazem mais importantes quando os valores de **a** e **b** aumentam seus valores.

Gás	Fator de compressibilidade (Z)	a, bar L <sup>2</sup> mol <sup>-2</sup>	b, L mol <sup>-1</sup>
H <sub>2</sub>	1,006	0,2452	0,0265
He	1,005	0,0346	0,0238
<b>Perfeito</b>	<b>1,000</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
N <sub>2</sub>	0,998	1,370	0,0387
CO <sub>2</sub>	0,950	3,658	0,0429
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,922	5,580	0,0651

Figura 3.13 Tela Equação de van der Waals / Exemplos de valores das constantes a e b para alguns gases.

### 3.3.7 Tela Referências bibliográficas

A tela oferece algumas sugestões de bibliografia para os alunos (Figura 3.14). Apesar de serem livros de nível universitário, podem auxiliar o aluno a aprofundar tópicos de interesse ou esclarecer dúvidas ainda existentes.



[Página inicial](#)

## Referências bibliográficas

**Este material foi preparado utilizando os livros a seguir. Caso você tenha interesse, podem ser uma boa fonte de complementação e aprofundamento.**

Alcañiz, E. J. (2003). Enlace Químico y Estructura de la Materia. Universidade de Alcalá, 93 p.

Atkins, P. & Paula, J. (2006). Physical Chemistry, Eighth Edition. Oxford University Press. 1087 p.

Brett (2007). Peterson's Master AP Chemistry. 2nd Edition. 624 p.

Brown, T. L., H. LeMay Jr, E. & Bursten, B. E. (2004). Química. La ciencia central. Pearson Educación, México. 1152 p.

**Figura 3.14 Tela Referências bibliográficas**

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGIA**

## 4.1 Caracterização do estudo

Hernández Sampieri *et al.* (2010) destacam que, ao longo do tempo, duas tendências foram polarizadas em duas abordagens principais para investigar: quantitativa e qualitativa. A abordagem quantitativa é sequencial e visa comprovar: utiliza a coleta de dados para testar hipóteses, com base na medição numérica e análise estatística, para estabelecer padrões de comportamento e provar teorias. A abordagem qualitativa utiliza a coleta de dados sem medição numérica para descobrir ou refinar questões de pesquisa no processo de interpretação. Algumas diferenças entre os dois enfoques são destacadas na tabela 4.1.

**Tabela 4.1 Algumas diferenças entre os enfoques quantitativo e qualitativo.**

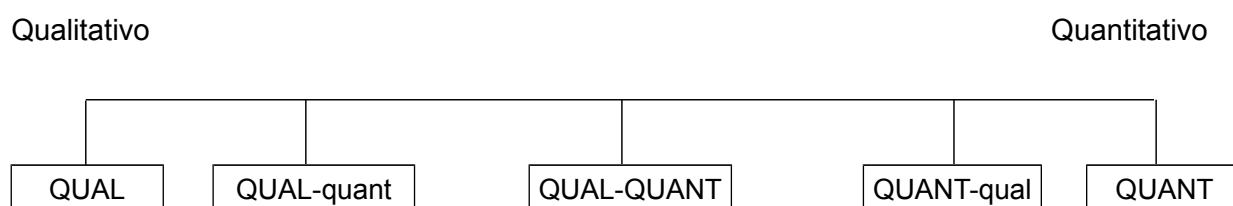
Dimensão	Enfoque quantitativo	Enfoque qualitativo
Ponto de partida	Realidade para se conhecer	Realidade para descobrir, construir e interpretar
Realidade	Objetiva e única	Subjetiva e múltipla
Objetividade	Busca objetividade	Admite subjetividade
Objetivos	Descrever, explicar e prever	Descobrir, compreender e interpretar
Posição do investigador	Neutra	Explícita
Abordagem do problema	Delimitado, específico	Aberto, livre
Uso da teoria	Ajustar os postulados ao mundo empírico	Marco de referência
Revisão de literatura	Buscar variáveis significativas que podem ser medidas	Auxiliar no início
Hipóteses	Aceites ou rejeitadas	Surgem durante o estudo ou ao final
Desenho da investigação	Estruturado, predeterminado	Aberto, flexível
Amostra	Dados generalizados para a população	Sem generalização
Natureza dos dados	Numéricos	Textos, narrações, significados
Análise dos dados	Procedimentos estatísticos	Relações, determinar significados, descrições
Crítérios de avaliação	Objetividade, rigor, confiabilidade, validade	Credibilidade, confirmação, avaliação e transferência
Apresentação dos resultados	Tabelas, diagramas e modelos estatísticos	Narrações, vídeos, áudios, diagramas (variável)



MacCarthy *et al.* (2013) consideram que os métodos de pesquisa quantitativa e qualitativa têm o seu devido lugar e o debate não deve colocar pesquisas qualitativas contra a pesquisa quantitativa, destacando que a questão do rigor é igualmente pertinente tanto para pesquisa qualitativa quanto quantitativa. Os estudos empíricos qualitativos e quantitativos são complementares e reforçam-se para gerar teoria robusta. Não se deve afirmar a supremacia de nenhuma das duas abordagens. Existe uma grande diversidade de métodos e essa diversidade é benéfica e deve persistir.

Pilcher & Cortazzi (2016), em entrevistas com 17 profissionais envolvidos em pesquisa QUANT nas áreas da construção de materiais avançados, engenharia civil, modelagem de transportes, informática e geotecnia, observaram que os pesquisadores raramente se descreveram como puramente quantitativos, e raramente eram contra os cinco métodos qualitativos discutidos durante o contacto (entrevista, grupos focais, estudo de caso, pesquisa-ação e narrativa). Os autores do estudo não encontraram nenhum estereótipo nestes pesquisadores QUANT: eles mostraram vontade de considerar os métodos QUAL, abertura para incluí-los na prática e cuidado com métodos puramente QUANT.

Pode-se, também, considerar um contínuo entre as duas abordagens, com prevalência de uma ou outra, ou mesmo uma equivalência entre qualitativo e quantitativo (Hernández Sampieri *et al.*, 2010).



**Figura 4.1** Contínuo qualitativo-quantitativo e possibilidades de combinações de enfoques.

O presente trabalho situa-se, neste contínuo, mais próximo da extremidade da abordagem quantitativa, pois, segundo Cohen *et al.* (2007), esteve preocupado com a identificação e definição de variáveis, descobrindo maneiras em que as suas relações pudessem ser expressas. A orientação do estudo teve objetivo de descrever, explicar e prever, com problema específico e delimitado, mensurável através de dados numéricos submetidos à análise estatística. Também apresentou uma componente de análise

qualitativa das respostas, com o objetivo de observar o nível de competência representacional dos alunos, procurando analisar a qualidade e abordagem das diferentes representações.

Sendo assim, justifica-se classificar este estudo como QUANT-qual, uma abordagem mista, mas com preponderância quantitativa.

## 4.2 Amostra

O presente estudo decorreu em contexto escolar, recorrendo a turmas já formadas, não havendo a possibilidade de constituir aleatoriamente os grupos necessários à investigação. Neste contexto de investigação educacional, o controlo de variáveis não é total, mas é possível, conforme destacam Cohen *et al.* (2007), pensar em modos eficientes de avaliar o resultado da intervenção proposta.

A grande desvantagem, segundo Hernández Sampieri *et al.* (2010), é não se poder calcular o nível de confiança de uma estimativa e os dados não poderem ser generalizados.

Recorreu-se a um método de amostragem não probabilístico – amostragem de conveniência. A amostra foi constituída por 153 alunos, que se encontravam interessados no estudo e disponíveis para colaborar, de um total de 168 alunos que cursavam a segunda série do ensino médio. O colégio apresentava um total de 4 turmas com 42 alunos cada, distribuídos por ordem alfabética.

Os alunos da segunda série apresentavam média de idade igual a 16,4 anos, com 50,6 % do sexo feminino e 49,4 % do sexo masculino. O acesso ao colégio é muito concorrido e isso nota-se na percentagem de alunos que já haviam cursado a primeira série (45,8 %) ou mesmo a segunda (1,8 %) e optaram por reiniciar o ensino médio, repetindo a primeira série. Quase a totalidade dos participantes tem acesso à internet (99,4 %) e computador em casa (97,6 %).

O desempenho destes alunos no conteúdo de química da primeira série revelou um índice de reprovação decrescente ao longo do ano anterior: 22,3 % no final do primeiro bimestre, 15,8 % no segundo bimestre, 5,5 % no terceiro bimestre e 3,0 % no quarto bimestre. No colégio onde se efetuou o estudo, o aluno é considerado reprovado quando atinge pontuação inferior a 60 % da nota bimestral.

Quanto ao grau de instrução da mãe, 27,7 % responderam ter até o ensino superior completo e 32,5 % com pós-graduação (especialização, mestrado ou doutoramento). Em relação ao grau de instrução do pai, 19,9 % responderam ter até o ensino superior completo e 16,9 % com pós-graduação.

Apenas 13,2 % dos alunos têm como cidade de origem Viçosa, que é onde o colégio se situa. Os demais são provenientes de cidades vizinhas próximas ou até de outras mais afastadas, dentro do estado de Minas Gerais, ou mesmo de outros estados.

### 4.3 Descrição das estratégias de intervenção

Um *design* de investigação especifica as operações a realizar para testar as hipóteses, sob um determinado conjunto de condições (Tuckman, 2012).

Uma vez que a afirmação do problema foi definida, que o escopo inicial da pesquisa foi definido e as hipóteses foram formuladas, o pesquisador deve visualizar a maneira prática e concreta de responder às questões de pesquisa. Isso envolve selecionar determinadas técnicas e aplicá-las ao contexto particular do estudo. O termo *design* refere-se ao plano ou estratégia projetada para obter a informação desejada (Hernández Sampieri *et al.*, 2010).

Assim, com o propósito de testar a hipótese de que o uso de recursos de ciclos de interação e de multirrepresentação em material digital de aprendizagem de química promove ganhos de aprendizagem e aumenta a competência representacional dos alunos que utilizam este material, optou-se por um *design* experimental, que se caracteriza por envolver tratamento ou intervenção.

A essência da concepção de experimento, segundo Hernández Sampieri *et al.* (2010), é a de que requer a manipulação intencional de uma ação para analisar seus possíveis resultados (Figura 4.2).

Hernández Sampieri *et al.* (2010) enumeram três requisitos de um experimento: (i) manipulação intencional de uma ou mais variáveis independentes, e isto implica transferir o conceito teórico para um referente real (intervenção); (ii) medir o efeito que a variável independente tem na variável dependente, de maneira válida e confiável; (iii) controlar a validade interna, que é o grau de confiança que se tem de que a variação da variável

dependente se deve à manipulação da variável independente e não a outros fatores ou causas. Além disto, consideram como muito desejável que o experimento tenha validade externa, isto é, seja possível generalizar os resultados de uma experiência para situações não-experimentais, bem como para outras pessoas e populações.



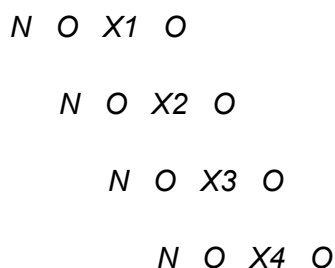
**Figura 4.2 Esquema de experimento e variáveis.**

Quanto à manipulação da variável independente, o presente estudo propôs-se a expor os grupos experimentais a diferentes modalidades da variável, com alteração nos recursos usados no material digital de aprendizagem. Em relação à medição do efeito na aprendizagem e na competência representacional dos alunos, utilizaram-se guias previamente validados em outras investigações. Para o controle da validade interna, garantiram-se grupos sujeitos à mesma sequência de eventos e às mesmas condições ambientais durante a intervenção, experimento em curto período de tempo e pequena possibilidade de contacto entre grupos distintos. Os fatores de fragilização foram a existência de grupos não-equivalentes (as pessoas não foram atribuídas aleatoriamente para as diferentes condições de tratamento) e a aplicação de um pós-teste idêntico ao pré-teste. De acordo com Tuckman (2012), deste modo, o pós-teste pode não estar apenas a medir o efeito do tratamento experimental, pois os resultados podem refletir mais a experiência do pré-teste do que a própria experiência do grupo experimental. Quanto à capacidade de generalização, a amostra utilizada é representativa apenas de uma parte da população de alunos brasileiros de ensino médio, pois optou-se por trabalhar com alunos de um colégio que aplica exame de seleção para ocupação de suas vagas.

Dentro da classificação dos *designs* experimentais em três classes (Tuckman, 2012; Hernández Sampieri *et al.*, 2010) – pré-experimentos, experimentos puros e quasi-experimentos – o presente trabalho classifica-se como quasi-experimental, pois não consegue um controle total das fontes que afetam a validade interna. Limitações práticas relativamente às oportunidades para selecionar ou designar os participantes e para manipular as condições impediram um controle experimental completo. O estudo decorreu

em contexto escolar, com turmas já formadas, sem a possibilidade de constituir aleatoriamente os grupos necessários à investigação e, por questões éticas, ficou impossibilitado de administrar a intervenção a uma parte dos alunos, recusando-a à outra. De acordo com Tuckman (2012), prosseguiu com o controle experimental até ao seu limite razoável e de acordo com as características reais da situação.

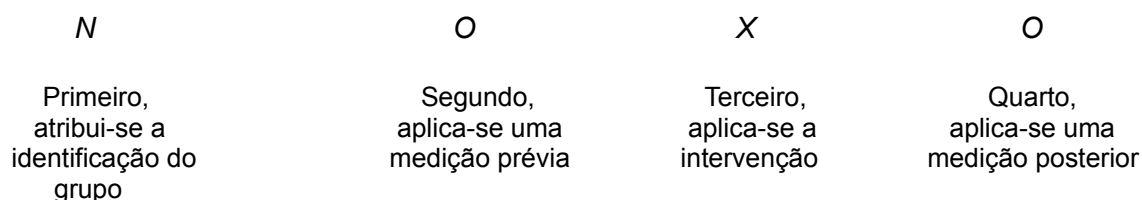
De acordo com a simbologia geralmente utilizada em textos sobre experimentos, o plano experimental adotado pode ser representado com o diagrama representado na Figura 4.3.



onde:  $N$  = grupos não equivalentes;  $X1, X2, X3, X4$  = quatro condições diferentes de tratamento;  $O$  = medição

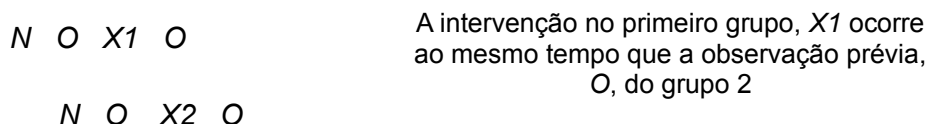
**Figura 4.3 Diagrama correspondente ao *design* com pré-teste e pós-teste**

Neste sistema de símbolos, um  $X$  designa um tratamento (intervenção experimental) e um  $O$  significa uma observação ou medição (Figura 4.4). O uso de índices serve para facilitar a referência.  $N$  representa o grupo de sujeitos. A sequência horizontal (da esquerda para a direita) indica diferentes tempos (Tuckman, 2012; Hernández Sampieri *et al.*, 2010).



**Figura 4.4 Simbologia utilizada em *designs* experimentais e quasi-experimentais.**

Quando aparecem, em dois grupos, dois símbolos alinhados verticalmente, isso indica, conforme Hernández Sampieri *et al.* (2010), que eles ocorrem no mesmo momento do experimento (Figura 4.5).



**Figura 4.5 Simbologia utilizada para mostrar diferença no tempo.**

#### **4.4 Técnicas e instrumentos de recolha de dados**

Utilizou-se como técnica de recolha de dados o inquérito por questionário com questões abertas, objetivando a comparação entre os grupos com base nas respostas dadas ao questionário usado como pré-teste e pós-teste.

O uso do questionário com questões abertas possibilita obter mais informações nas respostas, com mais detalhe e sem limitar a capacidade de exposição do aluno. As perguntas abertas eram as mais adequadas para a análise de produção de texto, utilização de múltiplos modos e à forma de incorporação destes modos ao texto, que era o pretendido no trabalho. Desvantagens como tempo envolvido na interpretação das respostas e exigência de experiência do avaliador foram levadas em consideração, mas foram julgadas como perfeitamente contornáveis. A maior desvantagem é a dificuldade de análise em uma maneira estatística e, segundo Cohen *et al.* (2007), os dados não são facilmente comparados entre os participantes e as respostas são difíceis de codificar e classificar. Esta dificuldade foi enfrentada a partir da escolha de um guia de correção adequado e validado, com critérios bem estabelecidos para analisar cada questão e de modo que a nota final representasse um somatório de vários itens analisados padronizadamente.

As questões abertas serviram um duplo propósito: análise segundo critérios estabelecidos (McDermott & Hand, 2013), de modo a obter uma pontuação e posterior análise estatística, e avaliação qualitativa das respostas, permitindo classificar o nível de competência representacional (Kozma & Russel, 2005), a função exercida pela

multirrepresentação (Ainsworth, 1999) e as atividades ligadas à semiose, formação de representação/tratamento/conversão (Duval, 2012).

#### **4.4.1 A elaboração do questionário**

A avaliação, contendo perguntas discursivas, foi submetida ao exame de pares e testada com grupo-piloto. A versão inicial constava de seis questões discursivas, ocupando três páginas de tamanho A4. O exame da avaliação proposta levou em conta o tempo gasto para resolução, tamanho (em número de páginas), dificuldade das questões, clareza (para evitar ambiguidades) e autossuficiência (para evitar informações complementares no momento da aplicação).

A avaliação, após aplicação ao grupo-piloto e conversas com professores especialistas no assunto, foi reduzida a cinco questões discursivas e adequada ao tempo de aplicação de 50 minutos. Ambiguidades foram eliminadas e informações complementares foram adicionadas ao texto para que os alunos soubessem exatamente o que estava sendo pedido. Como as respostas seriam digitalizadas para posterior envio ao autor da pesquisa, as questões e respectivos espaços para respostas foram dimensionadas para ocuparem apenas uma folha de tamanho A4, em frente e verso, no sentido de facilitar a operacionalização de aplicação dos testes e envio das respostas.

A folha de resposta foi identificada com os quatro últimos algarismos do telemóvel do aluno, de modo a permitir a comparação entre pré-teste e pós-teste, mas de modo a preservar o anonimato do respondente.

A primeira questão era conceitual e envolvia conhecimentos pré-existentes do aluno, que, provavelmente, já havia entrado em contacto com o tema em anos escolares anteriores ou na experiência cotidiana. Apesar de fornecer algumas palavras orientadoras, não restringia o aluno ao uso das mesmas. O objetivo da questão era, a partir de um conceito conhecido e amistoso, reduzir a tensão inicial do aluno frente à avaliação e garantir confiança e disposição para prosseguir na resolução das questões.

### Questão 01

Utilize as palavras que julgar mais convenientes e proponha uma definição de gás.

ocupar	líquido	compressibilidade	armazenado	contido	substância
maleabilidade	volume	ductibilidade	espaço	fluido	expansibilidade

A segunda questão fornecia uma pequena revisão de um assunto amplamente discutido no tema de gases perfeitos, com o qual os alunos deveriam estar familiarizados, e introduzia a questão dos gases reais, solicitando que o aluno julgasse as proposições teóricas e as colocasse em adequação ao mundo real. Nesta e em outras questões, era deixado claro para o aluno que poderia socorrer-se de uma ampla variedade de representações: “Se julgar conveniente, poderá, além do texto, utilizar desenhos, esquemas, fórmulas matemáticas, gráficos e representações químicas”.

### Questão 02

O modelo físico de um gás perfeito fundamenta-se nas seguintes hipóteses:

1. O gás é formado por um grande número de partículas (moléculas ou átomos) que se movem permanentemente no espaço de forma desordenada (caótica);
2. As dimensões das partículas são muito pequenas e desprezíveis quando comparadas com as distâncias entre elas e com o tamanho do recipiente;
3. As partículas não exercem entre si forças apreciáveis (nem repulsivas, nem atrativas);
4. As colisões entre partículas ou entre as partículas e as paredes do vaso são perfeitamente elásticas, *i.e.*, nos choques há conservação da energia cinética e do momento linear (ou quantidade de movimento).

Um gás real, no entanto, diferencia-se do ideal em duas dessas proposições.

a) Cite as proposições: \_\_\_\_\_ e \_\_\_\_\_

b) Explique essas diferenças. Se julgar conveniente, poderá, além do texto, utilizar desenhos, esquemas, fórmulas matemáticas, gráficos e representações químicas.



A terceira questão abordava o tema em estudo, gás real, e colocava uma proposição para o aluno, o qual era convidado a explicá-la. O que se esperava é que o aluno percebesse que os fatores pressão e temperatura agem de maneiras distintas, o que exigia uma explicação adequada para cada fator.

### **Questão 03**

Por que o comportamento de um gás real se aproxima ao do gás perfeito, quando submetido a baixas pressões e elevadas temperaturas? Se julgar conveniente, poderá, além do texto, utilizar desenhos, esquemas, fórmulas matemáticas, gráficos e representações químicas.

A quarta questão abordava um ponto que não foi tratado, especificamente, no material de ensino apresentado. O objetivo era verificar se o aluno era capaz de abstrair e captar a imponderabilidade do movimento das partículas gasosas, tão importante na explicação de todos os fenômenos dos gases.

### **Questão 04**

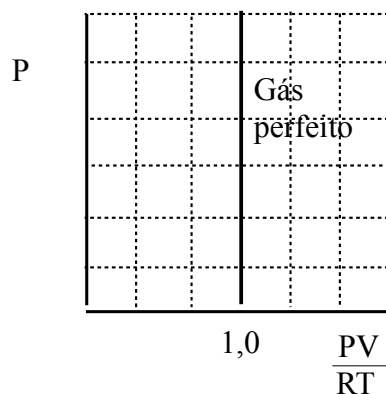
Quando estudamos as forças intermoleculares atuantes nos gases reais, julgamos que as interações entre pares (2 moléculas) são mais importantes do que entre trios (3 moléculas), que, por sua vez, são mais importantes do que entre quartetos (4 moléculas), e assim por diante. Explique o porquê de se adotar este critério. Se julgar conveniente, poderá, além do texto, utilizar desenhos, esquemas, fórmulas matemáticas, gráficos e representações químicas.

A quinta questão abordava um tema discutido no material de ensino apresentado aos alunos e fornecia algumas informações básicas que permitiriam medir a capacidade de entendimento do aluno no sentido de transpor a informação contida no texto desta questão para a forma gráfica e o grau de atenção em relação a informações fornecidas em questão anterior, que complementavam o texto desta questão e permitiam um refinamento na representação. Além disso, a inversão dos eixos de orientação do gráfico em relação ao do material de ensino permitiria revelar, no pós-teste, se o aluno apenas memorizou ou se foi capaz de adaptar e reconfigurar o que foi visto para uma nova situação de representação.

**Questão 05**

A relação  $PV/RT$ , para 1 mol de gás perfeito, é sempre igual a 1. Podemos, então, representar em um gráfico da seguinte maneira (Figura 1):

Figura 1



Para a maioria dos gases reais, quando submetidos a baixas pressões, a relação  $PV/RT$  é menor que 1, pois verifica-se que ocorre diminuição da pressão real do gás e do volume por ele ocupado. Quando submetidos a altas pressões, a relação é maior que 1, devido ao aumento da pressão real do gás e do volume por ele ocupado. O gás hidrogênio ( $H_2$ ), por ter moléculas muito pequenas, apresenta sempre a relação com valor maior que 1.

- Represente com uma linha cheia, no gráfico anterior (Figura 1), a variação da relação  $PV/RT$  para o gás hidrogênio.
- Represente com uma linha tracejada, no mesmo gráfico (Figura 1), a variação da relação  $PV/RT$  para a maioria dos gases reais.

**4.4.2 O guia de correção do questionário**

A informação levantada no questionário, a produção de texto, a utilização de múltiplos modos e a forma de incorporação destes modos no texto foram analisadas de acordo com o guia utilizado por McDermott e Hand (2013, 227-230).

O guia de medição das características do material escrito pelos estudantes foi traduzido e a versão final, em português, foi ajustada a partir da aplicação da mesma nas respostas do grupo-piloto.

O guia gerado por McDermott e Hand (2013) foi desenvolvido como parte de um estudo-piloto e a validade desta medida foi alcançada através de consultas a um grupo de pesquisadores internacionais, bem como em literatura de pesquisa relacionada com o uso

de múltiplos modos de representação da informação. Determinaram-se três subcategorias de medição das características particulares do material escrito pelos estudantes: produção de texto, modos de representação e incorporação. Estas subcategorias foram combinadas para fornecer medidas globais do nível de incorporação dos vários modos na escrita dos alunos.

O guia original de McDermott e Hand (2013) foi aplicado à avaliação de relatórios, sem perguntas orientadoras. No caso do presente estudo, o guia foi adaptado ao questionário contendo cinco questões.

#### **4.4.2.1 Subcategoria um: pontuação de produção de texto (PPT)**

A primeira subcategoria de avaliação do material escrito foi a de produção de texto. O interesse foi avaliar se: o texto cobriu os tópicos avaliados (obrigatoriedade), estava gramaticalmente correto (correção gramatical), foi exato (exatidão) e foi completo (completude). Cada uma destas características foi avaliada utilizando um sistema de pontuação 0-3.

Pontuação 0 indicando falta desta característica;

Pontuação 1 indicando que essa característica foi pouco presente;

Pontuação 2 indicando que essa característica foi frequente;

Pontuação 3 indicando que essa característica foi sempre presente.

Cada questão respondida, como se referia a um tópico específico do conteúdo, foi considerada como tópico de obrigatoriedade. A correção gramatical foi determinada avaliando-se a observância das normas gramaticais. A exatidão foi avaliada observando as afirmações científicas e fazendo as notas dos alunos descer um nível para cada inexatidão. A completude foi determinada ao avaliar se cada tópico requerido foi exaustivamente discutido com base na literatura adequada ao nível dos alunos.

A pontuação final de cada característica foi obtida a partir da média desta

característica nas cinco questões. As quatro pontuações médias foram somadas e referidas como pontuação de produção de texto (PPT), com um máximo igual a 12.

#### **4.4.2.2 Subcategoria dois: pontuação dos modos de representação (PMR)**

A segunda subcategoria de características avaliadas mediu o número total de modos não-texto apropriadamente utilizados e o número de temas de ciência que foram abordados através da utilização desses modos. Essa avaliação envolveu a concessão de um ponto para cada representação diferente de texto adequadamente utilizada, mais a concessão de um ponto para cada diferente modo de representação não-textual usada. Por exemplo, um esquema e dois gráficos utilizados de forma adequada resultariam em dois pontos para dois modos de representações, e três pontos para as três representações totais. Finalmente, os alunos foram premiados com um ponto para cada uma das questões em que eles utilizaram um modo não-texto: um estudante que utilizou modos não-texto em duas questões diferentes recebeu dois pontos por duas questões contendo modos não-texto. Estas três pontuações foram combinadas para formar a pontuação dos modos de representação (PMR).

#### **4.4.2.3 Subcategoria três: pontuação média de incorporação (PMI)**

Uma pontuação média de incorporação (PMI) foi determinada para cada pedaço de escrita multimodos, através da avaliação individual de cada modo não-texto usado na escrita do estudante, com base em uma lista de vários itens. Os principais itens avaliados incluíram verificar se as representações não-texto foram: exatas (sem erros científicos), completas (sem deixar de fora informações), dispostas perto do texto com o qual se relacionam, referenciadas no texto escrito (usando uma frase como "ver Fig. 1"), acompanhadas de uma legenda, ou se foram um item original criado pelo aluno e não copiado do material de ensino apresentado. Foi concedido um ponto para cada uma destas características utilizadas pelo aluno em uma representação particular. Uma pontuação de incorporação foi calculada para cada modo, e então uma pontuação total de incorporação para todos os

casos de uso de modos foi calculada somando todas as pontuações de incorporação de cada modo. A pontuação média de incorporação foi obtida dividindo-se esta pontuação total de incorporação pelo número de diferentes representações de modos não-texto.

#### **4.4.2.4 Índice de incorporação (II)**

A partir das três pontuações destas subcategorias, uma pontuação global, denominada índice de incorporação (II), foi calculada pela adição do PPT, PMR e PMI. Determinou-se uma pontuação global que levou em conta a capacidade do estudante para utilizar o texto de forma adequada, para utilizar vários modos de representação de forma eficaz e para utilizar estratégias no sentido de ligar outros modos não-texto com o texto. O índice de incorporação foi criado para fornecer essa medida quantitativa da qualidade científica da resposta e do grau de incorporação de multirrepresentações.

O guia utilizado por McDermott e Hand (2013) é apresentado na Figura 4.6 e o original, em inglês, no Anexo F.

Para o adaptar ao questionário com cinco questões, sendo uma delas, necessariamente, uma resposta em modo gráfico, e facilitar a tabulação dos dados, utilizou-se a diagramação conforme Anexo G.

### **4.5 Recolha de dados**

A atividade de coleta de dados com alunos da segunda série do ensino médio (11º ano do ensino secundário) ocorreu em março de 2017 e foi conduzida por uma equipe de docentes do colégio, que incluiu professores de química e da área de informática e estudantes de licenciatura, sob supervisão do pesquisador.

Os alunos assistiram às aulas normais do turno matutino, no dia da intervenção. Após um intervalo para o almoço, retornaram à tarde para a realização do pré-teste, exposição ao material digital de aprendizagem e realização do pós-teste, idêntico ao pré-teste.

<b>Produção de texto (PPT)</b>	Sempre (3)	Muito (2)	Pouco (1)	Nada (0)
Obrigatoriedade	_____	_____	_____	_____
Correção gramatical	_____	_____	_____	_____
Exatidão	_____	_____	_____	_____
Compleitude	_____	_____	_____	_____
				<b>PPT = _____</b>

<b>Modos de representação (PMR)</b>	
Número de diferentes modos não-texto utilizados _____ (a)	
_____ Imagem _____ Gráfico _____ Tabela _____ Lista _____ Diagrama _____ Fórmula	
Número total de modos de representação _____ (b)	
Número de representações inapropriadas _____ (c)	
Número de respostas contendo modos não-texto _____ (d)	
<b>PMR = (b - c) + a + d = _____</b>	

<b>Média de incorporação (PMI)</b>						
ITENS: (P) = Próximo do texto (R) = Referenciada no texto (E) = Exata						
(C) = Completa (L) = Com legenda (O) = Original						
1) Tipo _____	P _____	R _____	E _____	C _____	L _____	O _____
2) Tipo _____	P _____	R _____	E _____	C _____	L _____	O _____
3) Tipo _____	P _____	R _____	E _____	C _____	L _____	O _____
<b>Pontuação total de incorporação _____</b>			<b>Total de modos _____</b>		<b>PMI = _____</b>	

<b>Índice de incorporação (II) = PPT _____ + PMR _____ + PMI _____ =</b>	<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px;"></div>
--	--

Figura 4.6: Guia utilizado por McDermott e Hand (2013), traduzido.

A atividade iniciou-se com os alunos da turma A em uma sala de aula. Os participantes receberam uma folha contendo o questionário, identificaram os quatro últimos Algarismos do respectivo telemóvel e responderam ao pré-teste, com duração de 50 minutos. Dado o tempo, dirigiram-se ao laboratório de informática, escolheram um computador e utilizaram, em duplas, o material digital “Gases Reais”, com duração de 50 minutos. O professor responsável pelo laboratório de informática relacionou o material digital utilizado (aula virtual 1, 2, 3 ou 4) com o aluno, através da identificação dos quatro últimos Algarismos do telemóvel. Após o tempo estipulado, os alunos retornaram à sala de aula, identificaram os quatro últimos Algarismos do telemóvel e responderam ao pós-teste, com duração de 50 minutos.

Com uma diferença de início de 1 hora, repetiu-se este ciclo para as outras turmas (turma B, C e D), de maneira a não existir conflito na utilização do laboratório de informática, considerado um espaço limitante na intervenção proposta. O material digital de aprendizagem foi guardado em cada equipamento e os alunos trabalharam em modo *offline*. Com isto evitaram-se eventuais interferências por acesso deficiente à internet.

Em cada momento, em sala de aula ou laboratório de informática, os alunos foram acompanhados por um professor e um monitor.

A operacionalização da intervenção é representada na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2 Esquema de aplicação dos testes e apresentação do material digital de aprendizagem.**

<b>Horário</b>	<b>TURMA A</b>	<b>TURMA B</b>	<b>TURMA C</b>	<b>TURMA D</b>
13:00	pré-teste			
14:00	laboratório	pré-teste		
15:00	pós-teste	laboratório	pré-teste	
16:00		pós-teste	laboratório	pré-teste
17:00			pós-teste	laboratório
18:00				pós-teste

## 4.6 Tratamento dos dados

Após a recolha de dados, procedeu-se ao tratamento dos mesmos. Com este propósito, na presente investigação, recorreu-se a procedimentos estatísticos (técnica quantitativa de análise de dados) e à análise do nível de competência representacional, da função exercida pela multirrepresentação e das atividades de formação de representação/tratamento/conversão (técnica qualitativa de análise de dados).

Recorreu-se ao *software* de apoio LibreOffice Calc 3 para digitação dos dados e cálculos preliminares e ao SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*), v. 24.0, para a análise estatística descritiva e inferencial.

A análise estatística descritiva, também designada análise exploratória de dados ou análise preliminar de dados, é entendida como um conjunto de métodos estatísticos que descrevem e apresentam dados, não fazem previsões, simplesmente relatam o que foi encontrado, de diversas maneiras (Cohen *et al.*, 2007). Os resultados obtidos foram discutidos e organizados em tabelas e gráficos ilustrativos e de síntese.

As estatísticas inferenciais, pelo contrário, esforçam-se por fazer inferências e previsões com base nos dados coletados. Estas incluem, por exemplo, testes de hipóteses, correlações, testes de diferença, regressão e regressão múltipla (Cohen *et al.*, 2007). Procedeu-se à análise inferencial com a finalidade de testar as hipóteses formuladas, tendo em vista a rejeição ou aceitação das mesmas. De acordo com Field (2009), o objetivo é ajustar um modelo estatístico aos dados da pesquisa que representam a hipótese alternativa e ver o quanto ele se encaixa em termos da variância que explica. Se ele se encaixa bem nos dados, ou seja, explica muita variação nos resultados, então a hipótese alternativa ganha confiança. À medida que a probabilidade diminui, ganhamos maior confiança de que a hipótese alternativa é realmente correta e que a hipótese nula pode ser rejeitada.

Para realizar os testes de hipóteses, podem ser utilizados testes paramétricos ou não-paramétricos. Os dados paramétricos assumem o conhecimento das características da população, para que as inferências possam ser feitas com segurança (Cohen *et al.*, 2007). Field (2009) cita quatro premissas para os testes paramétricos: a distribuição deve ser normal, a variância deve ser homogênea, os dados devem ser medidos ao nível de intervalo e o comportamento de um participante não deve influenciar o comportamento de outro.

Os testes não-paramétricos são indicados quando, pelo menos, uma das premissas



não for respeitada. A desvantagem destes testes é que não são tão potentes quanto os testes paramétricos, ou seja, é possível que haja diferenças entre os dados, mas os testes não-paramétricos não encontram estas diferenças.

Os principais testes ou os mais comumente utilizados estão reunidos na Tabela 4.3.

**Tabela 4.3 Principais testes paramétricos e não-paramétricos.**

Situação de uso	Paramétrico	Não-paramétrico
Descritivo	Média, moda, frequência, desvio-padrão	Moda, frequência
Correlação	Pearson	Spearman
2 amostras independentes	Teste t	Mann-Whitney
2 amostras relacionadas	Teste t	Wilcoxon
3 ou mais amostras independentes	ANOVA	Kruskal-Wallis
3 ou mais amostras relacionadas	ANOVA	Friedman
Efeito entre variáveis	Regressão	Combinação de técnicas

A escolha dos testes estatísticos mais adequados levou em consideração as sugestões encontradas na literatura (Field, 2009; Cohen *et al.*, 2007; Tuckman, 2000) e serão descritos à medida que forem sendo utilizados.

O teste de significância estatística é o pilar da pesquisa quantitativa, mas Maher *et al.* (2013) alertam para a importância de relatar a magnitude de efeito, que constitui uma parte robusta da análise.

A magnitude de efeito, de acordo com Durlak (2009), avalia a grandeza ou a força dos resultados que ocorrem nos estudos de pesquisa.

A capacidade de qualquer teste de significância para detetar um efeito fixo depende inteiramente da potência estatística proporcionada pelo tamanho da amostra. A sensibilidade do teste de significância ao tamanho da amostra é uma razão importante, pela qual muitos pesquisadores defendem o relatório de magnitude de efeitos e intervalos de confiança a par de estatísticas de teste e p-valores. A magnitude de efeito fornece uma medida sem escala que reflete a significância prática da diferença ou a relação entre as variáveis (Maher *et al.*, 2013).

Barry *et al.* (2016) ressaltam a forte recomendação da Associação Americana de

Psicologia (APA) para reportar sempre a magnitude de efeito na pesquisa e a responsabilidade dos investigadores em fornecer informações completas sobre suas descobertas. Apesar disso, relatam, em estudo com 1245 artigos, que apenas 47,9 % ( $n = 597$ ) comunicaram o uso de magnitude de efeito. Assim, menos da metade de todas as pesquisas sobre educação em saúde e comportamento, publicadas durante um período de quatro anos, nas seis revistas de destaque das áreas revisadas, aderiram aos relatórios estatísticos das melhores práticas.

Durlak (2009) alerta para o seguinte: incluir e interpretar a magnitude de efeito não deve ser visto apenas como uma exigência editorial para fins de publicação, mas como um componente essencial da boa pesquisa. A magnitude de efeito alcança um propósito importante porque ajuda a avaliar a contribuição geral de um estudo.

## **CAPÍTULO V**

### **APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

## 5.1 Identificação e operacionalização de ciclos de interação

Nesta análise, foi considerado o material digital 3, **Material digital contendo ciclos de interação**, preparado para apresentação aos alunos e interpretado no sentido de atender ao objetivo específico (i) Descrever o uso de ciclos de interação em material digital de aprendizagem e estabelecer as possibilidades e situações de uso.

Na tela **Gases reais** (Figura 5.1), utilizam-se recursos de interação que são as iniciações de produto, que demandam do utilizador uma resposta objetiva, como um nome, um lugar, uma data, uma cor (Silva & Mortimer, 2010). No material, as perguntas fazem referência à utilização do gás natural ou aos nomes dos principais componentes do gás de cozinha. A formulação de uma pergunta ao aluno, com possibilidade de aceder à resposta, constitui-se como uma tentativa de conexão entre o assunto estudado e situações do mundo real reconhecidas pelo aluno e também como incentivo ao engajamento emocional, com o estabelecimento de empatia com o material. Julgou-se este recurso mais adequado para um material potencialmente significativo do que a inclusão de um *link* simples ou a listagem direta das informações.

### Introdução

Muitas substâncias importantes para a vida e no nosso dia a dia encontram-se no estado gasoso: os componentes da atmosfera, alguns combustíveis (como o hidrogênio, metano, butano), propelentes de aerossóis, gases anestésicos. Em relação à tabela periódica, 12 são os elementos encontrados na natureza no estado gasoso.

	<p>Gás natural <a href="#">Você sabe qual a principal utilização?</a></p>	<p>Gás de cozinha <a href="#">Quais são os dois principais componentes?</a></p>
--	---	---

Figura 5.1 Recurso de interação / Iniciações de produto.

Na sequência, a tela **Desvios de comportamento dos gases reais** inicia o tema com uma discussão no campo fenomenológico (mundo dos objetos e eventos), que é a observação de que o volume ocupado por um gás real é ligeiramente diferente daquele esperado para um gás perfeito. Logo em seguida, prossegue-se para o campo conceitual (mundo das teorias e modelos) e utilizam-se termos como forças intermoleculares e volume molecular.

Uma intervenção é adicionada para permitir, ao aluno, uma transição entre os tipos de abordagem (fenomenológica e conceitual). A janela adicional (Figura 5.2) enfatiza a delimitação explícita de diferença em relação à teoria cinético-molecular, que será fundamental para o aluno prosseguir no entendimento do assunto, o que, segundo Ausubel (2000), favorece o desenvolvimento de compreensões mais precisas e integradas.

Observe os valores de volumes molares para alguns gases, à 0 °C (273,15 K) e 1 atm (101,325 kPa):

Gás	Volume molar, L mol <sup>-1</sup>		Gás	Volume molar, L mol <sup>-1</sup>
H <sub>2</sub>	22,427		N <sub>2</sub>	22,404
He	22,425		CO <sub>2</sub>	22,263
<b>Perfeito</b>	<b>22,414</b>		C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	22,189

Nestas condições, repare, o volume ocupado por um gás real é ligeiramente diferente daquele esperado para um gás perfeito. Isto porque, nas condições reais, [algumas características previstas para o gás perfeito não são respeitadas](#).

esses desvios são mais evidenciados.

No gás real, existem interações entre as forças intermoleculares ou os volumes moleculares não são desprezáveis, e desvios são observados.

No gás real, o volume ocupado por cada molécula não é desprezável.

**Figura 5.2 Recurso de interação / Delimitação de diferença com os pressupostos da teoria cinético-molecular.**

Ainda nesta tela, um recurso interativo é adicionado com uma função muito importante (Figura 5.3). A tela inicia-se no mundo dos objetos e eventos e desenvolve-se, na sua grande maioria, no mundo das teorias e modelos. O recurso interativo permite ao aluno entender melhor o que está por trás da expressão “volume total das moléculas”. Com um exemplo de um referente específico (no caso, o gás carbônico), o recurso retorna ao mundo dos objetos e eventos e enriquece o movimento entre diferentes modelagens e níveis de referencialidade que ocorrem na tela analisada.

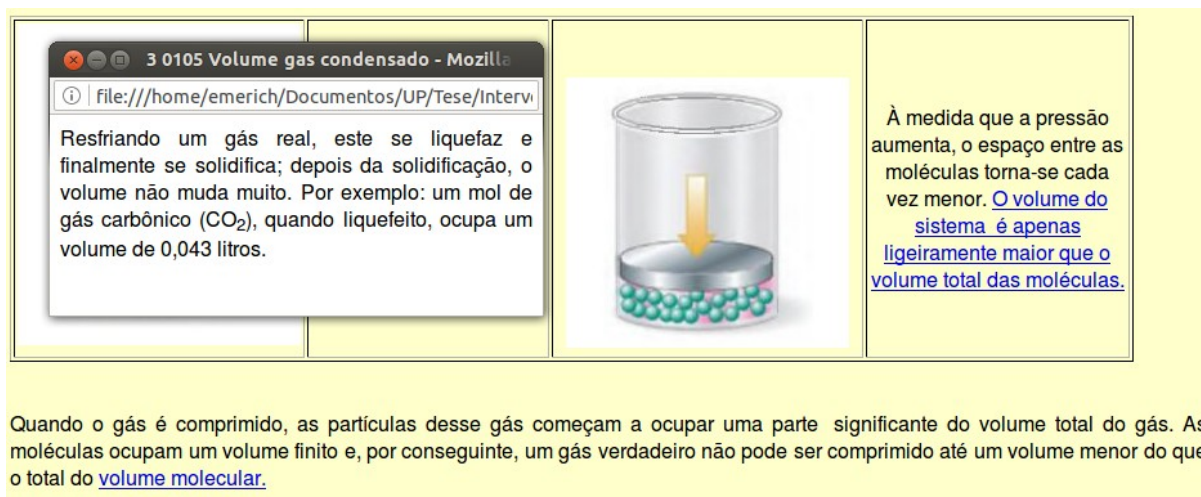


Figura 5.3 Recurso de interação / Uso de referente específico como elo entre diferentes modelagens.

A tela **Fator de compressibilidade** (Figura 5.4) apresenta um gráfico típico, com várias substâncias representadas ao mesmo tempo. Além desta complexidade visual, a sua interpretação exige a conexão entre os domínios fenomenológico e conceitual, o que constitui grande desafio.

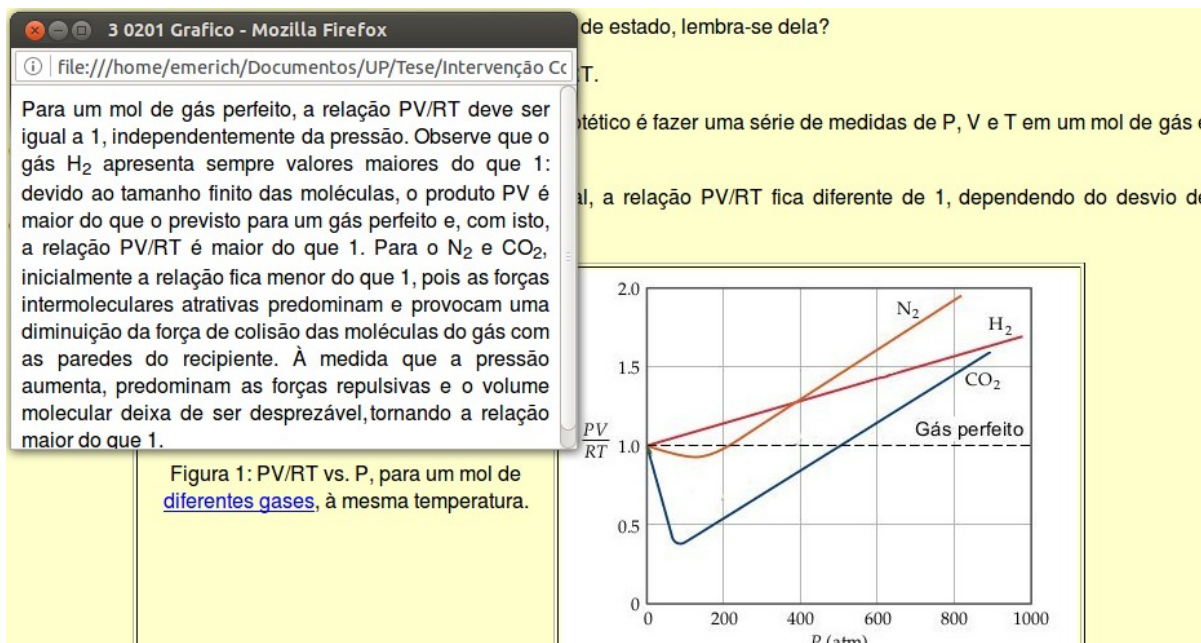


Figura 5.4 Recurso de interação / Conexões entre ideias para potencializar a criação de significados.

O recurso interativo proposto tem o objetivo de auxiliar o aluno no entendimento do gráfico, à semelhança do comportamento que um professor poderia assumir em sala de aula, ao mostrar o traçado de cada ente e estabelecer relações com a teoria discutida previamente. Busca o favorecimento de conexões entre as ideias, com o objetivo de apoiar a construção do conhecimento, à semelhança do que é discutido por Scott *et al.* (2011).

A tela **Equação de van der Waals** (Figura 5.5) apresenta e discute a fórmula matemática correspondente, que é obtida a partir de uma outra já discutida com os alunos, a equação de estado para os gases perfeitos,  $PV = nRT$ . Um dos recursos interativos utilizados é a exemplificação com um referente específico. Os cálculos matemáticos são apresentados de maneira escalonada, de modo a permitir ao aluno acompanhar o efeito de cada termo “novo” introduzido na equação. Além disto, no final do exemplo, relacionam-se os valores com as explicações já apresentadas anteriormente aos alunos, de modo a reforçar o enlace entre o mundo dos objetos e eventos e o mundo das teorias e modelos. A intenção do material é guiar os estudantes no trabalho com as ideias científicas e dar suporte ao processo de internalização, conforme destacado por Mortimer e Scott (2002).

$$\left(P + \frac{n^2a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

**a** e **b** são conhecidas como constantes de van der Waals e são diferentes para cada gás. A constante **a** é associada aos desvios provocados pela atração intermolecular e a constante **b** é associada como os desvios provocados pelo volume molecular.

**Exemplo:** Considere 1 mol de gás cloro,  $\text{Cl}_{2(g)}$ , contido em um volume de 2,00 L e à temperatura de 300 K. Os valores das constantes de van der Waals são:  $a = 6,49 \text{ atm L}^2 \text{ mol}^{-2}$ ,  $b = 0,0562 \text{ L mol}^{-1}$  e da constante universal dos gases  $R = 0,08206 \text{ atm L mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .

Se calcularmos a pressão com a equação do gás perfeito, obter-se-á o valor 11,2 atm. Se utilizarmos a equação de van der Waals e incluirmos apenas o termo **b**, o valor obtido será 11,5 atm. Se incluirmos, também, o termo **a**, a pressão será igual a 9,9 atm. O que significam esses valores?

Com o termo **b**, estamos considerando que o volume das moléculas são uma parte importante do volume total do gás. Há menos espaço livre para as moléculas e, assim, a pressão calculada é maior do que a ideal. O termo **a** leva em conta as atrações intermoleculares. A sua introdução provoca uma diminuição da pressão, pois as moléculas interagem entre si e isto diminui a força com que colidem na parede do recipiente.

Repare que o valor obtido (9,9 atm) é bem inferior ao esperado para um gás perfeito (11,2 atm). Nas condições deste exemplo, as forças intermoleculares de atração são a causa principal do desvio do comportamento desse gás.

**Figura 5.5 Recurso de interação / Conexões entre ideias para apoiar a construção do conhecimento.**

Ainda nesta tela, o assunto é finalizado com um exercício proposto ao aluno (Figura 5.6). A resposta, quando acedida, contempla uma pequena revisão do assunto e esclarece o caso particular destacado. A intenção do material é guiar o aluno na aplicação das ideias



científicas e na expansão de seu uso. Através de um referente específico, o material objetiva validar a generalização construída ao longo da explicação e estabelece um movimento de descontextualização e recontextualização no discurso da ciência escolar, conforme destacado por Silva e Mortimer (2010), ao transitar entre descrições, explicações e generalizações.

The screenshot shows a web browser window titled "3 0306 Explicação - Mozilla Firefox". The address bar shows a file path. The main content area contains a text box with the following text:

Moléculas maiores ou mais complexas, mais polares ou com maior polarizabilidade, apresentam maiores desvios em relação ao comportamento de um gás perfeito. Sendo assim,  $\text{CCl}_4$  é a alternativa que apresenta a substância com moléculas de maior massa, o que deve acarretar um maior volume das moléculas e aumento na intensidade das forças intermoleculares.

To the right of the text box is a table with the following values:

0,0265
0,0238
0
0,0387
0,0429
0,0651

Below the table, the text reads: "Moléculas maiores e com mais massa tendem a ocupar um volume maior e também a ter forças intermoleculares mais intensas. Qual das substâncias deve apresentar maior desvio em relação ao comportamento de um gás perfeito?"

The multiple-choice options are: a)  $\text{H}_2$ , b) He, c) Ne, d)  $\text{N}_2$ , e)  $\text{CCl}_4$ .

At the bottom, there is a link: [Confira a resposta e a explicação!](#)

Figura 5.6 Recurso de interação / Aplicação de ideias científicas e expansão de seu uso.

## 5.2 Identificação e operacionalização de multirrepresentação

Nesta análise, foi considerado o material digital 2, **Material digital com multirrepresentação**, preparado para apresentação aos alunos e interpretado no sentido de atender ao objetivo específico (ii) Descrever o uso de multirrepresentação em material digital de aprendizagem e estabelecer as possibilidades e situações de uso.

Na tela **Gases reais** (Figura 5.7), utilizam-se recursos de multirrepresentação pela associação de desenhos à descrição do comportamento das partículas que compõem os gases, uma vez que estes meios visuais podem proporcionar vantagens, para alguns alunos, sobre a forma textual. A representação com imagem, segundo o que propõe Ainsworth (1999), permite um maior entendimento da situação, pois favorece a abstração.



Uma observação inicial das propriedades dos gases, como o fato de serem facilmente compressíveis, preencherem o espaço disponível e exercerem uma pressão homogênea sobre toda a superfície do recipiente que os contém, sugere que suas moléculas estão muito afastadas umas das outras e em movimento caótico incessante.

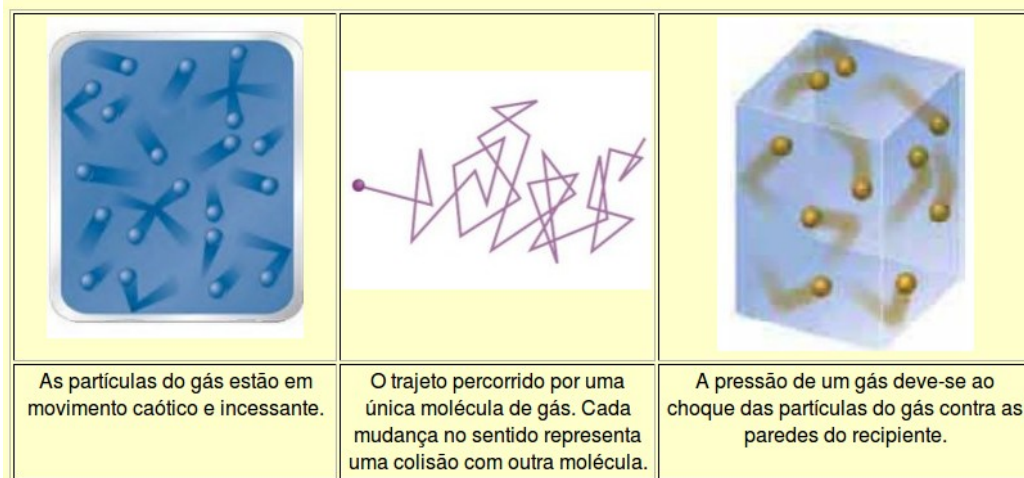


Figura 5.7 Multirrepresentação com a finalidade de promover a abstração.

Na sequência, a tela **Desvios de comportamento dos gases reais** (Figura 5.8) inicia o tema com uma discussão no mundo dos objetos e eventos, que é a observação de que o volume ocupado por um gás real é ligeiramente diferente daquele esperado para um gás perfeito. Com o intuito de explorar as diferentes maneiras de representação, os dados são apresentados na forma de tabela e gráfico. Dado que a comunicação humana é sujeita a falhas, a representação com gráfico, segundo o que propõe Ainsworth (1999), retoma, complementa e confirma a compreensão da representação com tabela.

Observe os valores de volumes molares para alguns gases, à 0 °C (273,15 K) e 1 atm (101,325 kPa):

Gás	Volume molar, L mol <sup>-1</sup>		Gás	Volume molar, L mol <sup>-1</sup>
H <sub>2</sub>	22,427		N <sub>2</sub>	22,404
He	22,425		CO <sub>2</sub>	22,263
<b>Perfeito</b>	<b>22,414</b>		C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	22,189

Veja na forma de um gráfico:



Figura 5.8 Multirrepresentação com a função de complementação.

Esta tela desenvolve-se, na sua grande maioria, no mundo das teorias e modelos. Os gráficos são adicionados para permitir e reforçar a conexão com o mundo dos objetos e eventos, além de permitirem a transição entre classe de referentes para um referente específico (Figura 5.9). Neste caso, o objetivo é, de acordo com Ainsworth (1999), restringir e refinar a interpretação, para limitar o foco do aluno à diferença observada entre o comportamento do gás real e do gás perfeito.

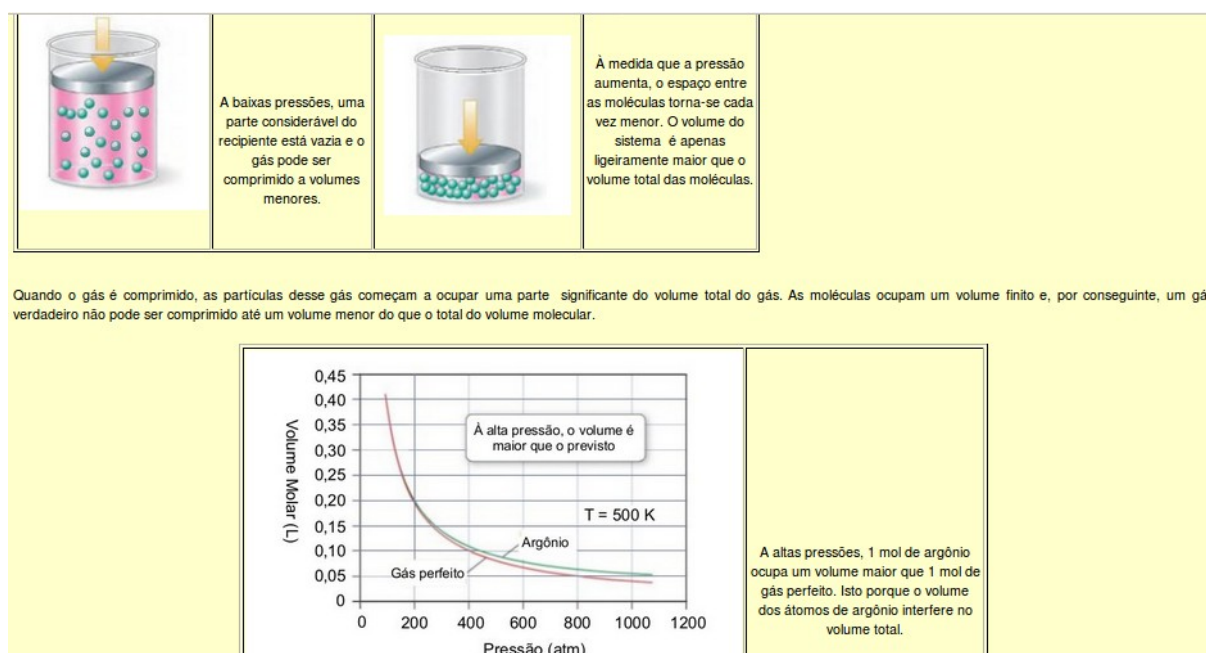
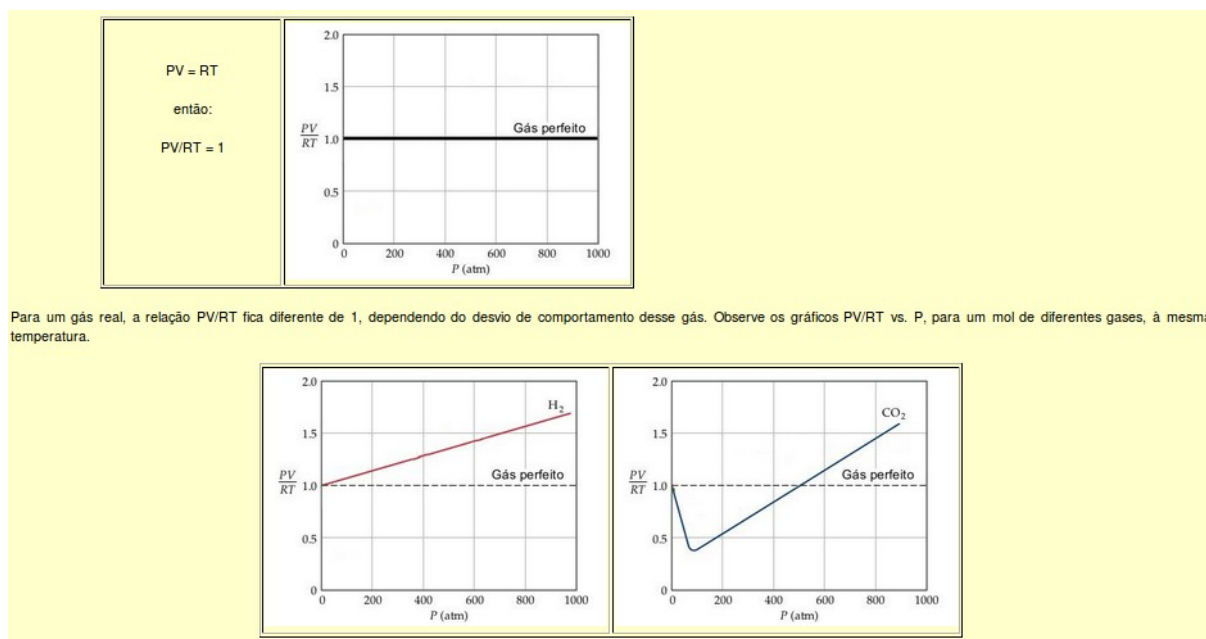


Figura 5.9 Multirrepresentação com função de restrição.

Na tela **Fator de compressibilidade** (Figura 5.10), a opção de multirrepresentação foi a substituição de um gráfico típico, com várias substâncias representadas ao mesmo tempo, por vários gráficos, cada um com uma substância representada separadamente. A interpretação dos gráficos exige a conexão entre os domínios fenomenológico e conceitual, o que já se constitui como um grande desafio. O recurso representacional proposto tem o objetivo de auxiliar o aluno no entendimento do assunto, à semelhança do comportamento que um professor poderia assumir em sala de aula, ao mostrar o comportamento de cada substância separadamente e depois representar uma síntese do que foi apresentado. Ao mostrar a relação entre representações, a multirrepresentação cumpre o objetivo de permitir aprofundar o entendimento.



**Figura 5.10** Multirrepresentação com função de aprofundar o entendimento.

Ainda nesta tela, apresenta-se a definição do fator de compressibilidade (Figura 5.11). O conceito já havia sido trabalhado na forma de gráficos, ao mostrar o comportamento desta relação para diferentes gases (referentes específicos), com uso das operações de descrição e explicação. A partir daí, há uma mudança nas operações epistêmicas, com a apresentação formal do conceito, nas formas textual e matemática, que implica mudança de registro semiótico. A essa definição segue-se uma generalização, que envolve classe de referentes e referentes abstratos.

A relação  $PV/RT$  é chamada fator de compressibilidade e é indicada por  $Z$ .

$$Z = \frac{PV}{RT}$$

Os valores do fator de compressibilidade inferiores à unidade indicam que os desvios de comportamento do gás perfeito se devem principalmente às forças intermoleculares atrativas. Essas forças são mais importantes a baixas temperaturas, quando o movimento de translação molecular é mais lento.

Gás	Fator de compressibilidade (Z)	Massa molar, g mol <sup>-1</sup>
N <sub>2</sub>	0,998	28,0134
CO <sub>2</sub>	0,950	44,0095
NH <sub>3</sub>	0,887	17,0352
SF <sub>6</sub>	0,880	146,0554

(a 9,87 atm e 300 K)

**Figura 5.11** Multirrepresentação com função de complementação.

A tela **Equação de van der Waals** enfatiza mudanças na representação (Figura 5.12). Parte da descrição do modo como a pressão de um gás real é afetada pela existência das forças intermoleculares e propõe a mudança da forma textual para a forma matemática. Este ciclo repete-se até à apresentação na equação definitiva. As alterações no volume já haviam sido previamente conduzidas, de forma semelhante. Pretende-se, assim, o reforço da apreensão conceitual, conforme sugere Duval (2012), através da coordenação dos diferentes registros semióticos, com atividades alternadas de tratamento e conversão.

**A pressão exercida por um gás real será maior ou menor do aquela considerada para um gás perfeito?**

Em um gás perfeito, se não consideramos o efeito das forças intermoleculares e o bombardeamento molecular nas paredes do recipiente produz a pressão ideal,  $P_{ideal}$ . Em um gás real, contudo, as moléculas não se chocam tão fortemente com as paredes do recipiente, porque cada molécula é levemente reprimida, ou batem e voltam, pelas atrações das moléculas vizinhas. A pressão  $P$  observada é um pouco menor que  $P_{ideal}$ .

$$P = P_{ideal} - \text{fator}$$

Esta diferença de pressão depende da densidade molecular e é proporcional ao quadrado da concentração das moléculas, isto é,  $(n/V)^2$ . A constante de proporcionalidade é a constante  $a$  de van der Waals e, então, podemos escrever assim:

$$P = P_{ideal} - a(n/V)^2 \quad \text{ou} \quad P_{ideal} = P + a(n/V)^2.$$

Substituindo na equação de estado do gás perfeito, temos:

$$\underbrace{\left( P + \frac{n^2 a}{V^2} \right)}_{\text{pressão corrigida}} \underbrace{(V - nb)}_{\text{volume corrigido}} = nRT$$

**Figura 5.12** Multirrepresentação com atividades de tratamento e conversão.

O gráfico utilizado no final da tela (Figura 5.13) tem o objetivo de fazer uma comparação entre comportamentos preditos por equações (do gás perfeito e de van der Waals) e o observado. Utiliza-se um referente específico, o exemplo do gás  $\text{CO}_2$ . Fica disponível para o aluno a comparação do poder preditivo da equação de van der Waals e da equação do gás perfeito, frente ao comportamento do gás real. O gráfico situa-se no nível mais alto da proposta de Kozma e Russel (2005), com uso argumentativo. A representação viabiliza generalização, conforme Mortimer e Scott (2002), pois envolve elaboração de descrições e explicações independentes de um contexto específico.

O gráfico seguinte compara o comportamento experimental observado de 1 mol de gás  $\text{CO}_2$  a 350 K com os comportamentos previstos pela lei do gás perfeito e pela equação de van der Waals.

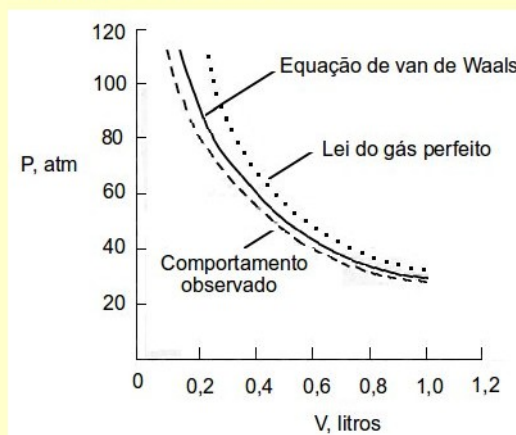


Figura 5.13 Representação com função de viabilizar generalização.

### 5.3 Identificação e operacionalização de ciclos de interação e multirrepresentação, simultaneamente

Nesta análise, foi considerado o material digital 4, **Material digital contendo ciclos de interação e multirrepresentação**, preparado para apresentação aos alunos e interpretado no sentido de explorar os recursos de ciclos de interação e multirrepresentação conjuntamente no material digital de aprendizagem, com o objetivo de estabelecer possibilidades e situações de relacionamento entre os recursos.

Alguns destes recursos já foram abordados isoladamente e explicados anteriormente. A ênfase será dada à possibilidade de combinação entre eles.

A tela **Desvios de comportamento** (Figura 5.14) inicia o tema com uma discussão no mundo dos objetos e eventos, que é a observação de que o volume ocupado por um gás real é ligeiramente diferente daquele esperado para um gás perfeito. Explora os recursos de multirrepresentação e apresenta os dados na forma de tabela e gráfico. Logo em seguida, disponibiliza-se uma janela adicional, como recurso de ciclo de interação, para permitir, ao aluno, uma transição entre os tipos de abordagem (fenomenológica e conceitual), que será fundamental para o aluno prosseguir no entendimento do assunto.



Observe os valores de volumes molares para alguns gases, à 0 °C (273,15 K) e 1 atm (101,325 kPa):

Gás	Volume molar, L mol <sup>-1</sup>		Gás	Volume molar, L mol <sup>-1</sup>
H <sub>2</sub>	22,427		N <sub>2</sub>	22,404
He	22,425		CO <sub>2</sub>	22,263
Perfeito	22,414		C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	22,189

Veja na forma de um gráfico:

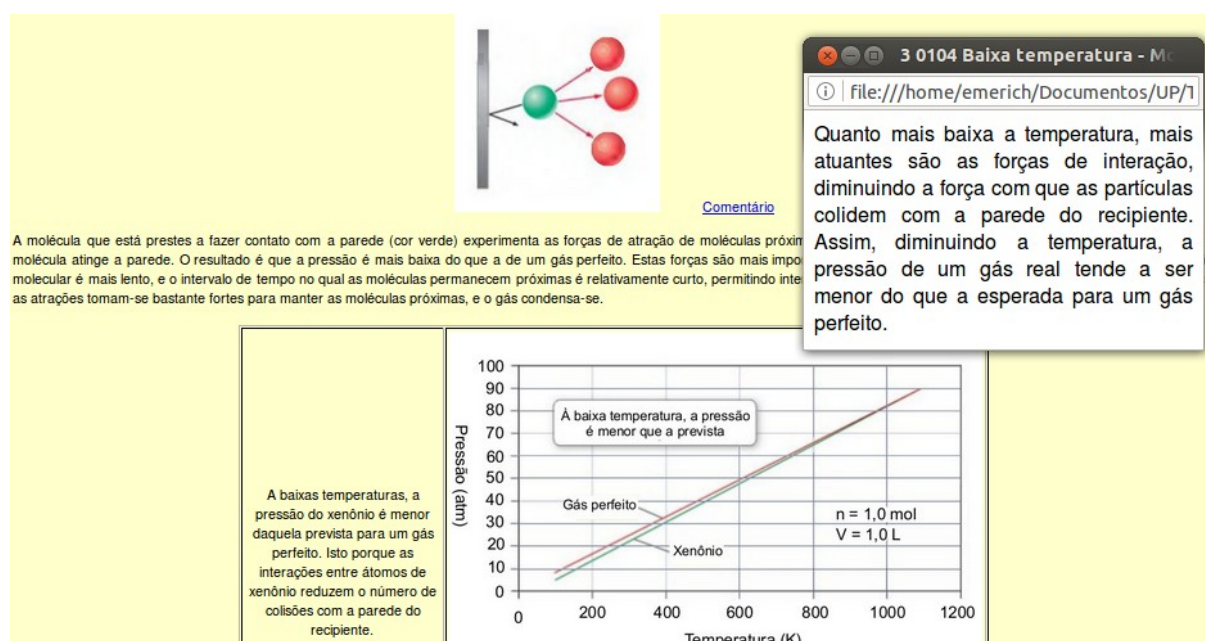


3 0103 Desvios - Mozilla Fire  
file:///home/emerich/Documents/UP/1  
No gás real, existem interações entre as moléculas e o volume ocupado por cada molécula não é desprezável.

Nestas condições, repare, o volume ocupado por um gás real é ligeiramente diferente daquele esperado para um gás perfeito. Isto porque, nas condições reais, [algumas características previstas para o gás perfeito não são respeitadas](#).

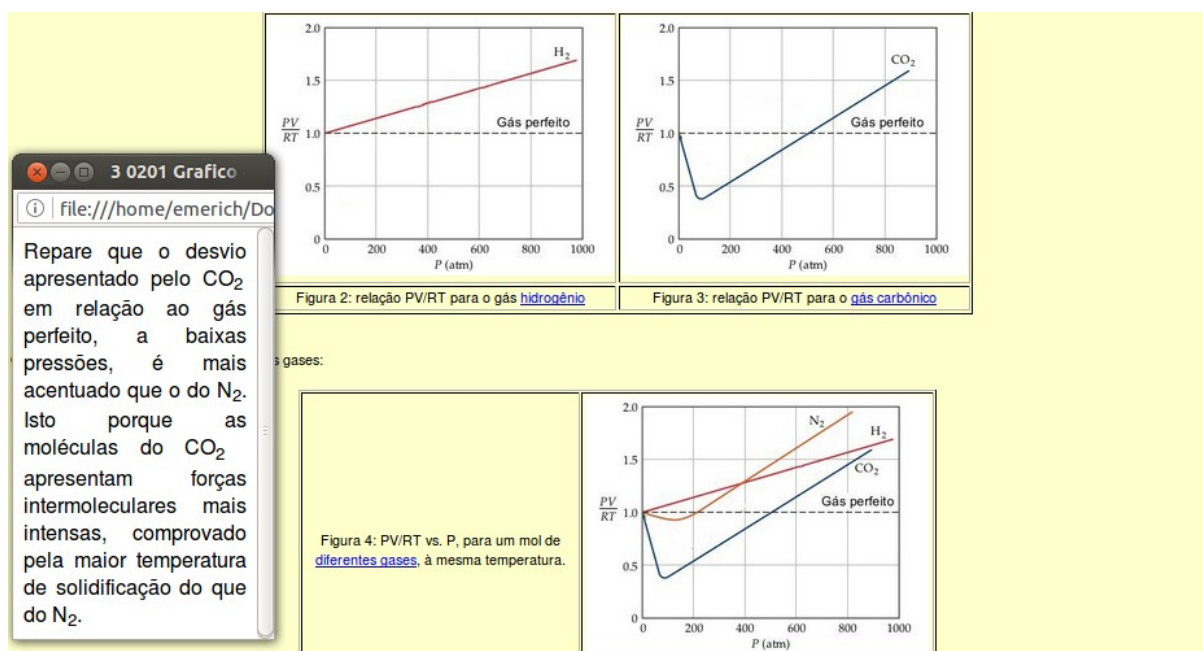
**Figura 5.14** Uso de multirrepresentação e reavaliação dos pressupostos da teoria cinético-molecular.

Esta tela desenvolve-se, na sua grande maioria, no mundo das teorias e modelos. Os gráficos adicionados (Figura 5.15), para permitir e reforçar a conexão com o mundo dos objetos e eventos, recebem esclarecimentos adicionais para permitir a transição entre classe de referentes para um referente específico.



**Figura 5.15** Uso da multirrepresentação para comparação entre referente específico e classe de referente com explicação adicional da diferença de comportamento.

Este procedimento é novamente adotado na tela **Fator de compressibilidade** (Figura 5.16). A caixa de texto utiliza referentes específicos, abordados no gráfico, para tornar mais evidente a diferença de comportamento entre eles, e prepara caminho para futuras generalizações, que ocorrerão em um momento pertinente do material.



**Figura 5.16** Multirrepresentação para permitir análise dos referentes em separado e agrupados, com explicação adicional dos comportamentos.

Na tela **Equação de van der Waals** (Figuras 5.17 e 5.18), o recurso interativo utilizado é a exemplificação, fazendo uso de referentes específicos (gases hélio e dióxido de enxofre). No final do exemplo, relacionam-se os valores com as explicações já apresentadas anteriormente aos alunos, de modo a reforçar o enlace entre a abordagem fenomenológica e conceitual. Gráficos disponíveis em telas anteriores são resgatados e utilizados para o entendimento de resultados obtidos a partir da equação, estabelecem-se conexões entre representações de diferentes registros (conversão), além de reforçar o ritmo de discutir/trabalhar/rever.

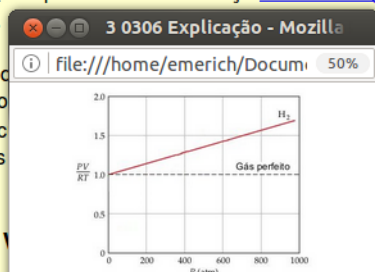
Vamos comparar agora duas substâncias: o gás nobre hélio (He) e o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>).

Considere que 1 mol de cada gás estejam contidos em recipientes de 22,4 L, à temperatura de 273 K. Se esses gases se comportassem como gases perfeitos, a pressão calculada pela equação  $PV = nRT$  seria de 1 atm. Utilizando-se a equação de van der Waal, os valores obtidos são de 1,002 atm para o He e 0,9896 atm para o SO<sub>2</sub>.

Repare que o resultado encontrado para o He está de acordo com o comportamento apresentado para o gás H<sub>2</sub>, com relação  $PV/RT$  maior que 1, [já discutido](#). E o SO<sub>2</sub> comporta-se à semelhança [dos demais gases](#), como visto para o CO<sub>2</sub>, em que a relação  $PV/RT$  é menor que 1, a baixas pressões.

O fato do He apresentar um pequeno desvio em relação ao ideal intermoleculares, o que é constatado pelo maior valor de pressão do que o esperado. Além disso, o desvio em relação a um gás perfeito, já não é tão pequeno.

### Entendendo a equação de van der Waals



desvio em relação ao volume molecular do que às atrações intermoleculares. No caso do SO<sub>2</sub>, que apresenta moléculas maiores, o valor menor de pressão do que o esperado, como do He.

Figura 5.17 Conversão de representações e ênfase no ritmo discutir/trabalhar/rever (gás hélio).

Vamos comparar agora duas substâncias: o gás nobre hélio (He) e o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>).

Considere que 1 mol de cada gás estejam contidos em recipientes de 22,4 L, à temperatura de 273 K. Se esses gases se comportassem como gases perfeitos, a pressão calculada pela equação  $PV = nRT$  seria de 1 atm. Utilizando-se a equação de van der Waal, os valores obtidos são de 1,002 atm para o He e 0,9896 atm para o SO<sub>2</sub>.

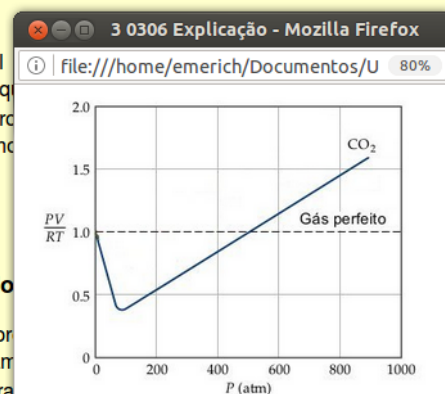
Repare que o resultado encontrado para o He está de acordo com o comportamento apresentado para o gás H<sub>2</sub>, com relação  $PV/RT$  maior que 1, [já discutido](#). E o SO<sub>2</sub> comporta-se à semelhança [dos demais gases](#), como visto para o CO<sub>2</sub>, em que a relação  $PV/RT$  é menor que 1, a baixas pressões.

O fato do He apresentar um pequeno desvio em relação ao ideal intermoleculares, o que é constatado pelo maior valor de pressão do que o esperado. Além disso, o desvio em relação a um gás perfeito, já não é tão pequeno.

### Entendendo a equação de van der Waals

#### O volume ocupado por um gás real será maior ou menor do que o volume do recipiente. O termo de correção que leva em consideração

Para um gás perfeito, que consideramos com volume molecular desprezível, isto é,  $V = V_{\text{ideal}}$ . Em um gás real, as moléculas ocupam um volume que é menor do que o volume do recipiente. O termo de correção que leva em consideração



as atrações intermoleculares, o que é constatado pelo maior valor de pressão do que o esperado.

to?

onível para o gás perfeito é menor do que o volume do recipiente. O termo de correção que leva em consideração

Figura 5.18 Conversão de representações e ênfase no ritmo discutir/trabalhar/rever (gás dióxido de enxofre).



## 5.4 Análise comparativa da evolução dos alunos dos grupos de investigação relativamente à aquisição de conceitos

Nesta análise, foram consideradas as respostas dos alunos apresentadas nas avaliações utilizadas como pré-teste (T1) e pós-teste (T2), respetivamente antes e depois da intervenção, e interpretadas no sentido de atender ao objetivo específico (iii) Avaliar se a utilização do material digital “Gases reais”, com a incorporação de recursos de ciclos de interação e multirrepresentação, proporciona aos alunos um contexto de aprendizagem que favoreça a aquisição de conceitos.

Fez-se uso da análise estatística descritiva e, para os resultados das variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT), calcularam-se as respetivas médias, desvios-padrão e medianas para o pré-teste (T1) e o pós-teste (T2), que são visualizadas na Tabela 5.1.

**Tabela 5.1 Médias, desvios-padrão e medianas para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT) no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).**

Variável	Média		Desvio-padrão		Mediana	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Obrigatoriedade	2,89	2,94	0,31	0,24	3,00	3,00
Correção gramatical	2,71	2,87	0,41	0,33	2,80	3,00
Exatidão	0,98	1,27	0,33	0,41	1,00	1,20
Completude	1,13	1,33	0,36	0,42	1,20	1,40
PPT	7,72	8,41	1,14	1,13	7,80	8,60

N válido (listwise) 153

Procedeu-se ao teste de Kolmogorov-Smirnov para determinar se estas variáveis apresentavam distribuição normal ou não.

O teste de Kolmogorov-Smirnov compara as pontuações na amostra com um conjunto de pontuação normalmente distribuído com a mesma média e desvio-padrão. Se o teste for não-significativo ( $p > 0,05$ ), ele diz-nos que a distribuição da amostra não é

significativamente diferente de uma distribuição normal, ou seja, provavelmente é normal. Se, no entanto, o teste for significativo ( $p < 0,05$ ), então a distribuição em questão é significativamente diferente de uma distribuição normal, isto é, não é normal (Field, 2009). Este teste apresenta limitações para grandes amostras, o que justifica sua utilização neste estudo com amostras de pequeno tamanho.

**Tabela 5.2** Teste de Kolmogorov-Smirnov para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT) no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).

Variável	Absoluto		Positivo		Negativo		Estatística do teste <sup>a,b</sup>	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Obrigatoriedade	0,497	0,525	0,366	0,397	-0,497	-0,525	0,497	0,525
Correção gramatical	0,241	0,369	0,241	0,343	-0,231	-0,369	0,241	0,369
Exatidão	0,132	0,099	0,132	0,099	-0,130	-0,091	0,132	0,099
Completude	0,130	0,122	0,118	0,103	-0,130	-0,122	0,130	0,122
PPT	0,165	0,146	0,102	0,083	-0,165	-0,146	0,165	0,146

N válido (*listwise*) 153

a. Correção de Significância de Lilliefors.

b.  $p < 0,001$

Observa-se, de acordo com a Tabela 5.2, que as análises, no SPSS, para todas as variáveis, tanto no pré-teste (T1) como no pós-teste (T2), foram significativamente não-normais, ao nível de  $p < 0,001$ .

Nestes casos, o recomendado é a aplicação de testes não-paramétricos.

Para verificar se havia diferença entre grupos à partida, efetuou-se o teste de Kruskal-Wallis, aplicado aos resultados das avaliações de pré-teste (Tabela 5.3). Este teste é indicado para comparar mais de dois grupos independentes (não pareados) e é o equivalente não-paramétrico do teste da ANOVA.

O teste de Kruskal-Wallis, segundo Field (2009), ordena as pontuações da menor para a maior, sem considerar o grupo ao qual pertence a pontuação. Em seguida, atribui à pontuação mais baixa uma classificação de 1, à seguinte uma classificação de 2 e assim por diante. Quando os dados são classificados, recolhe os resultados de volta para os grupos e adiciona as classificações para cada grupo. A soma dessas classificações para cada grupo é denotada por  $R_i$  (onde  $i$  é usado para denotar o grupo em particular) e, a partir daí, calcula-

se o teste estatístico H. Uma correção é aplicada no caso de muitos empates (pontuações iguais).

**Tabela 5.3** Posto médio obtido para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT) no pré-teste (T1).

Variável	Material digital de aprendizagem			
	tradicional	multirrepresentação	ciclos de interação	multi + ciclos
	Tamanho da amostra			
	39	37	43	34
	Posto Médio			
Obrigatoriedade	71,81	75,07	80,09	81,15
Correção gramatical	73,31	78,62	72,56	85,09
Exatidão	80,29	73,32	72,77	82,57
Completude	83,90	74,54	72,57	77,37
PPT	79,79	72,76	73,38	82,99

A estatística do teste, com a variável de agrupamento sendo Tipo de material digital, é exibida na Tabela 5.4.

**Tabela 5.4** Estatística do teste de Kruskal-Wallis para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT) no pré-teste (T1).

Variável	Qui-quadrado	gl	Significância Assint.
Obrigatoriedade	3,116	3	,374
Correção gramatical	2,090	3	,554
Exatidão	1,454	3	,693
Completude	1,540	3	,673
PPT	1,411	3	,703

Como se observa na Tabela 5.4, não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os grupos de alunos que utilizaram os materiais digitais de aprendizagem no pré-teste quando analisadas as variáveis Obrigatoriedade,  $H(3) = 3,12$ , Correção Gramatical,  $H(3) = 2,09$ , Exatidão,  $H(3) = 1,45$ , Completude,  $H(3) = 1,54$ , Pontuação de Produção de Texto (PPT),  $H(3) = 1,41$ ,  $p < 0,05$ . Pode-se considerar, portanto, que não havia

diferença entre os quatro grupos de alunos, à partida.

Procedeu-se à comparação dos resultados entre o pré-teste e o pós-teste, para decidir sobre a existência ou ausência de melhoria nos resultados das variáveis avaliadas, entre os dois testes.

Recorreu-se, assim, ao teste de postos com sinais de Wilcoxon (Tabela 5.5), que é usado em situações em que há dois conjuntos de pontuações para comparar, mas essas pontuações vêm dos mesmos participantes em momentos diferentes, antes e depois de alguma intervenção (Field, 2009). O teste de Wilcoxon substitui o *t* de *Student* para amostras pareadas quando os dados não satisfazem as exigências deste último.

**Tabela 5.5 Estatística do teste de postos com sinais de Wilcoxon para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT) no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).**

Variável	Classificações <sup>a</sup>			Z	Significância Assint. (Bilateral)
	Negativas	Positivas	Vínculos		
Obrigatoriedade	5	18	130	-2,187b	,029
Correção gramatical	14	69	70	-5,708b	,000
Exatidão	21	104	28	-7,585b	,000
Completude	34	96	23	-5,374b	,000
PPT	29	114	10	-7,989b	,000

a. *N* válido (*listwise*) 153

b. Com base em postos negativos.

Observa-se, de acordo com a Tabela 5.5, que, em todos os casos, ocorreu um incremento no resultado observado no pós-teste em comparação com o pré-teste. A significância estatística foi  $p < 0,05$  para a variável Obrigatoriedade e  $p < 0,001$  para as demais.

A magnitude de efeito ( $r$ ), foi calculada para aquelas variáveis que apresentaram diferença significativa entre pré-teste e pós-teste,  $p < 0,05$ . O cálculo consiste em dividir o valor de *Z* pela raiz quadrada do número de observações. Neste caso, são consideradas 306 observações (153 alunos testados duas vezes).

**Tabela 5.6 Magnitude de efeito ( $r$ ) para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT) no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).**

Variável	$r$
Obrigatoriedade	-0,13
Correção gramatical	-0,32
Exatidão	-0,43
Completude	-0,31
PPT	-0,46

A variável Obrigatoriedade apresentou efeito modesto (Cohen *et al.*, 2007) e as demais, Correção Gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT), apresentaram efeito moderado.

Analysaram-se, separadamente, os resultados obtidos no pré-teste (T1) e pós-teste (T2) para os diferentes tipos de materiais digitais propostos. O objetivo foi conhecer, com mais detalhes, o desempenho de cada grupo, a partir dos resultados das variáveis avaliadas entre os dois testes. O teste utilizado foi o de postos com sinais de Wilcoxon.

São apresentados, para o material digital de aprendizagem 1 (Material digital tradicional), os resultados da análise estatística descritiva para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT), exibindo-se, na Tabela 5.7, as respectivas médias, desvios-padrão e medianas para o pré-teste (T1) e o pós-teste (T2).

**Tabela 5.7 Médias, desvios-padrão e medianas para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT), material de aprendizagem 1, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).**

Variável	Média		Desvio-padrão		Mediana	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Obrigatoriedade	2,86	2,91	0,30	0,26	3,000	3,000
Correção gramatical	2,67	2,80	0,45	0,38	2,8000	3,000
Exatidão	1,00	1,20	0,32	0,39	1,000	1,200
Completude	1,18	1,26	0,39	0,43	1,200	1,200
PPT	7,70	8,17	1,25	1,09	8,000	8,400

N válido (*listwise*) 39

Os resultados para o teste de postos com sinais de Wilcoxon são apresentados na Tabela 5.8.

**Tabela 5.8 Estatística do teste de postos com sinais de Wilcoxon para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT), material de aprendizagem 1, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).**

Variável	Classificações <sup>a</sup>			Z <sup>b</sup>	Significância Assint. (Bilateral)
	Negativas	Positivas	Vínculos		
Obrigatoriedade	3	7	29	-,918	,359
Correção gramatical	4	16	19	-2,645	,008
Exatidão	7	20	12	-2,869	,004
Completude	13	19	7	-1,091	,275
PPT	11	25	3	-2,794	,005

a. N válido (*listwise*) 39

b. Com base em postos negativos.

Observa-se, conforme a Tabela 5.8, que, para as variáveis Obrigatoriedade e Completude, os resultados no pós-teste não foram significativamente diferentes em relação ao pré-teste,  $p < 0,05$ . Nos demais casos, ocorreu um incremento no resultado observado no pós-teste em comparação com o pré-teste, com significância estatística  $p < 0,01$ .

São apresentados, para o material digital de aprendizagem 2 (Material digital com multirrepresentação), os resultados da análise estatística descritiva para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto. Observam-se, na Tabela 5.9, as respectivas médias, desvios-padrão e medianas para o pré-teste (T1) e o pós-teste (T2).

**Tabela 5.9 Médias, desvios-padrão e medianas para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT), material de aprendizagem 2, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).**

Variável	Média		Desvio-padrão		Mediana	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Obrigatoriedade	2,87	2,94	0,38	0,31	3,000	3,000
Correção gramatical	2,70	2,86	0,46	0,42	2,8000	3,000
Exatidão	0,96	1,26	0,34	0,44	1,000	1,400
Completude	1,12	1,25	0,35	0,43	1,200	1,400
PPT	7,64	8,30	1,24	1,37	7,600	8,600

N válido (*listwise*) 37

Os resultados para o teste de postos com sinais de Wilcoxon são apresentados na Tabela 5.10.

**Tabela 5.10 Estatística do teste de postos com sinais de Wilcoxon para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT), material de aprendizagem 2, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).**

Variável	Classificações <sup>a</sup>			Z <sup>b</sup>	Significância Assint. (Bilateral)
	Negativas	Positivas	Vínculos		
Obrigatoriedade	0	5	32	-2,121	,034
Correção gramatical	4	17	16	-2,683	,007
Exatidão	5	21	11	-3,615	,000
Completude	10	21	6	-1,889	,059
PPT	8	27	2	-3,915	,000

a. N válido (*listwise*) 37

b. Com base em postos negativos.

Verifica-se, de acordo com a Tabela 5.10, que, para a variável Completude, o resultado no pós-teste não foi significativamente diferente em relação ao pré-teste,  $p < 0,05$ . Nos demais casos, ocorreu um incremento no resultado observado no pós-teste em comparação com o pré-teste, com significância estatística  $p < 0,05$ .

São apresentados, para o material digital de aprendizagem 3 (Material digital com ciclos de interação), os resultados da análise estatística descritiva para as variáveis

Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto. Exibem-se, na Tabela 5.11, as respectivas médias, desvios-padrão e medianas para o pré-teste (T1) e o pós-teste (T2).

**Tabela 5.11 Médias, desvios-padrão e medianas para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT), material de aprendizagem 3, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).**

Variável	Média		Desvio-padrão		Mediana	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Obrigatoriedade	2,90	2,94	0,34	0,22	3,000	3,000
Correção gramatical	2,69	2,90	0,44	0,30	2,8000	3,000
Exatidão	0,94	1,26	0,32	0,39	1,000	1,200
Completude	1,10	1,34	0,35	0,37	1,200	1,400
PPT	7,63	8,44	1,21	1,03	7,800	8,600

N válido (listwise) 43

Os resultados para o teste de postos com sinais de Wilcoxon são apresentados na Tabela 5.12.

**Tabela 5.12 Estatística do teste de postos com sinais de Wilcoxon para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT), material de aprendizagem 3, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).**

Variável	Classificações <sup>a</sup>			Z <sup>b</sup>	Significância Assint. (Bilateral)
	Negativas	Positivas	Vínculos		
Obrigatoriedade	1	4	38	-1,342	,180
Correção gramatical	2	23	18	-3,921	,000
Exatidão	5	35	3	-4,587	,000
Completude	6	32	5	-3,937	,000
PPT	6	35	2	-5,180	,000

a. N válido (listwise) 43

b. Com base em postos negativos.

Nota-se, a partir da Tabela 5.12, que, para a variável Obrigatoriedade, o resultado no



pós-teste não foi significativamente diferente em relação ao pré-teste,  $p < 0,05$ . Nos demais casos, ocorreu um incremento no resultado observado no pós-teste em comparação com o pré-teste, com significância estatística  $p < 0,001$ .

São apresentados, para o material digital de aprendizagem 4 (Material digital com ciclos de interação e multirrepresentação), os resultados da análise estatística descritiva para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto. Exibem-se, na Tabela 5.13, as respectivas médias, desvios-padrão e medianas para o pré-teste (T1) e o pós-teste (T2).

**Tabela 5. 13 Médias, desvios-padrão e medianas para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT), material de aprendizagem 4, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).**

Variável	Média		Desvio-padrão		Mediana	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Obrigatoriedade	2,96	2,97	0,15	0,14	3,000	3,000
Correção gramatical	2,82	2,91	0,22	0,18	2,9000	3,000
Exatidão	1,01	1,39	0,35	0,43	1,000	1,300
Completude	1,14	1,49	0,35	0,45	1,200	1,400
PPT	7,93	8,76	0,78	0,96	8,000	8,600

N válido (listwise) 34

Os resultados para o teste de postos com sinais de Wilcoxon são apresentados na Tabela 5.14.

Observa-se, conforme a Tabela 5.14, que, para a variável Obrigatoriedade, o resultado no pós-teste não foi significativamente diferente em relação ao pré-teste,  $p < 0,05$ . Nos demais casos, ocorreu um incremento no resultado observado no pós-teste em comparação com o pré-teste, com significância estatística  $p < 0,05$ .

**Tabela 5. 14 Estatística do teste de postos com sinais de Wilcoxon para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT), material de aprendizagem 4, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).**

Variável	Classificações <sup>a</sup>			Z <sup>b</sup>	Significância Assint. (Bilateral)
	Negativas	Positivas	Vínculos		
Obrigatoriedade	1	2	31	-,272	,785
Correção gramatical	4	13	17	-1,980	,048
Exatidão	4	28	2	-4,096	,000
Completude	5	24	5	-3,582	,000
PPT	4	27	3	-4,023	,000

a. N válido (*listwise*) 34

b. Com base em postos negativos.

Apresenta-se, na Tabela 5.15, um resumo dos principais resultados para o teste de postos com sinais de Wilcoxon, aplicado aos diferentes materiais digitais de aprendizagem.

**Tabela 5.15 Resumo da estatística do teste de postos com sinais de Wilcoxon para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT), em cada um dos quatro materiais digitais de aprendizagem, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).**

Variável	Material digital de aprendizagem							
	1		2		3		4	
	Z <sup>a</sup>	p-valor	Z <sup>a</sup>	p-valor	Z <sup>a</sup>	p-valor	Z <sup>a</sup>	p-valor
Obrigatoriedade	-0,918	0,359	-2,121	<b>0,034</b>	-1,342	0,180	-0,272	0,785
Correção gramatical	-2,645	<b>0,008</b>	-2,683	<b>0,007</b>	-3,921	<b>0,000</b>	-1,980	<b>0,048</b>
Exatidão	-2,869	<b>0,004</b>	3,615	<b>0,000</b>	-4,587	<b>0,000</b>	-4,096	<b>0,000</b>
Completude	-1,091	0,275	-1,889	0,059	-3,937	<b>0,000</b>	-3,582	<b>0,000</b>
PPT	-2,794	<b>0,005</b>	-3,915	<b>0,000</b>	-5,180	<b>0,000</b>	-4,023	<b>0,000</b>

a. Com base em postos negativos.

Na Tabela 5.15 são destacados em negrito os valores para as variáveis que apresentaram diferença significativa entre pré-teste e pós-teste,  $p < 0,05$ .

Para estas variáveis, foi calculada a magnitude de efeito, ao dividir-se o valor de Z pela raiz quadrada do número de observações (material digital 1: 39 alunos, 78 observações; material digital 2: 37 alunos, 74 observações; material digital 3: 43 alunos, 86 observações).

observações; material digital 4: 34 alunos, 68 observações), conforme exibido na Tabela 5.16.

**Tabela 5.16** Magnitude de efeito ( $r$ ) para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT), em cada um dos quatro materiais digitais de aprendizagem, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).

Variável	Material digital de aprendizagem			
	1	2	3	4
Obrigatoriedade	–	0,25	–	–
Correção gramatical	0,30	0,31	0,42	0,24
Exatidão	0,32	0,42	0,49	0,50
Completude	–	–	0,42	0,43
PPT	0,32	0,46	0,56	0,49

Observa-se, na Tabela 5.16, que as variáveis apresentaram pequeno ou médio efeito. Os materiais digitais 2, 3 e 4 (com inovações) apresentaram, no geral, resultados maiores do que o material digital 1 (tradicional).

O Ganho de Aprendizagem foi calculado a partir dos resultados da variável Pontuação de Produção de Texto para o total dos alunos, pela razão entre o ganho apurado pelo aluno e o máximo ganho possível, com base em duas avaliações idênticas (pré e pós-testes).

Ganho de aprendizagem ou ganho normalizado é definido por Hake (1998) como a proporção do ganho real (% pós - % pré) para o ganho máximo possível (100 - % pré), onde % pré corresponde à nota do pré-teste e % pós à nota do pós-teste. O principal mérito do ganho normalizado é sua invariância para diferentes resultados de pré-teste, dependendo somente do método de instrução utilizado.

O Ganho de aprendizagem pode ser usado para comparar os desempenhos de grupos de alunos quando diferentes métodos instrucionais são utilizados (Barros *et al.*, 2004).

Procedeu-se ao teste de Kolmogorov-Smirnov para confirmar a distribuição normal desta variável (Tabela 5.17).

**Tabela 5.17 Teste de Kolmogorov-Smirnov para a variável Ganho de aprendizagem.**

Variável	Absoluto	Positivo	Negativo	Estatística do teste <sup>a,b</sup>
Ganho de aprendizagem	,065	,055	-,065	,065

a. A distribuição do teste é Normal.

b. Significância = 0,200.

Verifica-se, de acordo com a Tabela 5.17, que a análise, no SPSS, para Ganho de aprendizagem,  $D(153) = 0,07$ ,  $p > 0,05$  foi significativamente normal. Nestes casos, o recomendado é a aplicação de testes paramétricos.

Apresentam-se, na Tabela 5.18, os resultados da análise estatística descritiva para a variável Ganho de aprendizagem, com as respetivas médias e desvios-padrão.

**Tabela 5.18 Média e desvios-padrão para a variável Ganho de aprendizagem em cada um dos materiais digitais de aprendizagem.**

Ganho de aprendizagem	Material digital de aprendizagem			
	1	2	3	4
Média	0,08	0,14	0,18	0,20
Desvio-padrão	,26	,20	,15	,22

Para verificar se havia diferença entre o Ganho de aprendizagem para os diferentes materiais, efetuou-se o teste da ANOVA (Tabela 5.19).

**Tabela 5.19 Teste da ANOVA para a variável Ganho de aprendizagem.**

	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Entre Grupos	,313	3	,104	2,344	,075
Nos grupos	6,637	149	,045		
Total	6,950	152			

Verifica-se, de acordo com a Tabela 5.19, que a análise revelou que o Ganho de aprendizagem não foi afetado pelo tipo de material digital utilizado, em nível de significância  $p < 0,05$ .

Analisou-se a correlação entre as diferentes variáveis com o teste não-paramétrico  $\rho$  de Spearman. São exibidas apenas as variáveis que apresentaram coeficientes de correlação superiores a 0,65 com, no mínimo, outra variável, que foram os casos das variáveis Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT) no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2). A Tabela 5.20 resume as correlações apresentadas. A tabela completa é apresentada no Anexo H.

**Tabela 5. 20 Coeficientes de correlação de  $\rho$  de Spearman entre variáveis, selecionados.**

	<b>Exatidão (T1)</b>	<b>Completude (T1)</b>	<b>PPT (T1)</b>	<b>Exatidão (T2)</b>	<b>Completude (T2)</b>	<b>PPT (T2)</b>
<b>Exatidão (T1)</b>	1,00	,82*	,86*	,46*	,40*	,49*
<b>Completude (T1)</b>	153	1,00	,88*	,44*	,46*	,49*
<b>PPT (T1)</b>	153	153	1,00	,49*	,48*	,55*
<b>Exatidão (T2)</b>	153	153	153	1,00	,85*	,92*
<b>Completude (T2)</b>	153	153	153	153	1,00	,90*
<b>PPT (T2)</b>	153	153	153	153	153	1,00

\* $p < ,01$  (bilateral).

Observa-se, na Tabela 5.20, que a variável Pontuação de Produção de Texto (PPT) é altamente correlacionada com as variáveis Exatidão e Completude, respectivamente  $r_s = ,86$  e  $,88$ , no pré-teste e  $,92$  e  $,90$ , no pós-teste, todas  $p < 0,1$ .

Estimou-se a regressão linear para a variável Pontuação de Produção de Texto (PPT). A relação pós-teste e pré-teste, bem como a diferença entre pontuações pós e pré relacionada com o resultado de pré-teste, não foram consideradas significativas. Optou-se por exibir tais resultados no Anexo I.

Para verificar se houve diferença entre grupos para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT), no final da intervenção, efetuou-se o teste de Kruskal-Wallis, aplicado aos resultados das avaliações de pós-teste (Tabela 5.21).

**Tabela 5.21** Posto médio obtido para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT) no pós-teste (T2).

Variável	Material digital de aprendizagem			
	tradicional	multirrepresentação	ciclos de interação	multi + ciclos
	Tamanho da amostra			
	39	37	43	34
	Posto Médio			
Obrigatoriedade	73,24	78,76	77,64	78,59
Correção gramatical	68,81	78,07	81,67	79,32
Exatidão	70,53	77,24	75,01	86,68
Completude	70,01	72,43	76,29	90,88
PPT	66,97	77,86	76,97	87,60

A estatística do teste, com a variável de agrupamento sendo Tipo de material digital, é exibida na Tabela 5.22.

**Tabela 5.22** Estatística do teste de Kruskal-Wallis para as variáveis Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude e Pontuação de Produção de Texto (PPT) no pós-teste (T2).

Variável	Qui-quadrado	gl	Significância Assint.
Obrigatoriedade	1,801	3	,615
Correção gramatical	3,043	3	,385
Exatidão	2,600	3	,457
Completude	4,832	3	,185
PPT	3,985	3	,263

Não foram observadas diferenças significativas entre os diferentes tipos de materiais no pós-teste, de acordo com a Tabela 5.22, quando analisadas as variáveis Obrigatoriedade,  $H(3) = 1,18$ , Correção Gramatical,  $H(3) = 3,04$ , Exatidão,  $H(3) = 2,60$ , Completude,  $H(3) = 4,83$ , Pontuação de Produção de Texto (PPT),  $H(3) = 3,99$ ,  $p < 0,05$ .

## 5.5 Análise comparativa da evolução dos alunos dos grupos de investigação relativamente ao desenvolvimento de habilidade representacional

Nesta análise, foram consideradas as respostas dos alunos apresentadas nas avaliações utilizadas como pré-teste (T1) e pós-teste (T2), respetivamente antes e depois da intervenção, e interpretadas no sentido de atender ao objetivo específico (iv) Avaliar se a utilização do material digital “Gases reais”, com a incorporação de recursos de ciclos de interação e multirrepresentação, proporciona aos alunos um contexto de aprendizagem que favoreça o desenvolvimento de habilidade representacional.

Fez-se uso da análise estatística descritiva e, para os resultados das variáveis Pontuação dos Modos de Representação (PMR), Pontuação Média de Incorporação (PMI) e Índice de Incorporação (II), calcularam-se as respetivas médias, desvios-padrão e medianas para o pré-teste (T1) e o pós-teste (T2).

**Tabela 5.23 Médias, desvios-padrão e medianas para as variáveis Pontuação dos Modos de Representação (PMR), Pontuação Média de Incorporação (PMI) e Índice de Incorporação (II) no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).**

Variável	Média		Desvio-padrão		Mediana	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
PMR	0,13	0,24	0,67	0,86	0,00	0,00
PMI	0,11	0,21	0,59	0,82	0,00	0,00
II	7,96	8,85	1,77	2,07	7,80	8,60

N válido (listwise) 153

Procedeu-se ao teste de Kolmogorov-Smirnov para determinar se estas variáveis apresentavam distribuição normal ou não (Tabela 5.24).

As análises, exibidas na Tabela 5.24, para todas as variáveis, tanto no pré-teste (T1) como no pós-teste (T2), foram significativamente não-normais, ao nível de  $p < 0,001$ .

Nestes casos, o recomendado é a aplicação de testes não-paramétricos.

**Tabela 5.24** Teste de Kolmogorov-Smirnov para as variáveis Pontuação dos Modos de Representação (PMR), Pontuação Média de Incorporação (PMI) e Índice de Incorporação (II) no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).

Variável	Absoluto		Positivo		Negativo		Estatística do teste <sup>a,b</sup>	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
PMR	0,539	0,535	0,539	0,535	-0,422	-0,393	0,539	0,535
PMI	0,538	0,529	0,538	0,529	-0,423	-0,399	0,538	0,529
II	0,209	0,232	0,209	0,232	-0,138	-0,144	0,209	0,232

N válido (*listwise*) 153

a. Correção de Significância de Lilliefors,

b.  $p < 0,001$

Para verificar se havia diferença entre grupos à partida, efetuou-se o teste de Kruskal-Wallis aplicado aos resultados das avaliações de pré-teste (Tabela 5.25).

**Tabela 5.25** Posto médio obtido para as variáveis Pontuação dos Modos de Representação (PMR), Pontuação Média de Incorporação (PMI) e Índice de Incorporação (II) no pré-teste (T1).

Variável	Tipo de material digital			
	tradicional	multirrepresentação	ciclos de interação	multi + ciclos
	Tamanho da amostra			
	39	37	43	34
	Posto Médio			
PMR	75,95	74,00	77,60	80,71
PMI	75,91	74,00	77,59	80,76
II	79,17	71,19	73,67	85,04

A estatística do teste, com a variável de agrupamento sendo Tipo de material digital, é apresentada na Tabela 5.26.

Não foram observadas diferenças significativas entre os diferentes tipos de materiais no pré-teste, de acordo com a Tabela 5.26, quando analisadas as variáveis Pontuação dos Modos de Representação (PMR),  $H(3) = 3,87$ , Pontuação Média de Incorporação (PMI),  $H(3) = 3,95$  e Índice de Incorporação (II),  $H(3) = 2,10$ ,  $p < 0,05$ . Pode-se considerar, portanto, que não havia diferença entre os quatro grupos de alunos, à partida.

Procedeu-se à comparação dos resultados entre o pré-teste e o pós-teste, para decidir sobre a existência ou ausência de melhoria nos resultados das variáveis avaliadas,



entre os dois testes.

**Tabela 5.26** Estatística do teste de Kruskal-Wallis para as variáveis Pontuação dos Modos de Representação (PMR), Pontuação Média de Incorporação (PMI) e Índice de Incorporação (II) no pré-teste (T1).

Variável	Qui-quadrado	gl	Significância Assint.
PMR	3,868	3	,276
PMI	3,946	3	,267
II	2,104	3	,551

Recorreu-se, assim, ao teste de postos com sinais de Wilcoxon (Tabela 5.27).

**Tabela 5.27** Estatística do teste de postos com sinais de Wilcoxon para as variáveis Pontuação dos Modos de Representação (PMR), Pontuação Média de Incorporação (PMI) e Índice de Incorporação (II), no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).

Variável	Classificações <sup>a</sup>			Z <sup>b</sup>	Significância Assint. (Bilateral)
	Negativas	Positivas	Vínculos		
PMR	4	9	140	-1,216	,224
PMI	5	10	138	-1,373	,170
II	31	114	8	-7,322	,000

a. N válido (listwise) 153

b. Com base em postos negativos.

Observa-se que, de acordo com a Tabela 5.27, para a variável Pontuação dos Modos de Representação (PMR), os resultados no pós-teste (Mdn = 0,00) não foram significativamente diferentes em relação ao pré-teste (Mdn = 0,00),  $T = 29,00$ ,  $p < 0,05$ . Para a variável Pontuação Média de Incorporação (PMI), os resultados no pós-teste (Mdn = 0,00) não foram significativamente diferentes em relação ao pré-teste (Mdn = 0,00),  $T = 36,00$ ,  $p < 0,05$ . Para a variável Índice de Incorporação (II), os resultados no pós-teste (Mdn = 8,60) foram significativamente maiores que no pré-teste (Mdn = 7,80),  $T = 1587,00$ ,  $p < 0,001$ .

A magnitude de efeito ( $r$ ) foi calculada para a variável que apresentou diferença significativa entre pré-teste e pós-teste. A variável Índice de Incorporação (II) apresentou efeito médio,  $r = -,42$ ,  $p < ,001$ .

As variáveis Pontuação dos Modos de Representação (PMR) e Pontuação Média de Incorporação (PMI) apresentaram muitos valores iguais a zero. Sendo assim, apenas para a variável Índice de Incorporação (II) serão discutidos os resultados obtidos no pré-teste (T1) e pós-teste (T2) para os diferentes tipos de materiais digitais propostos.

São apresentados na Tabela 5.28, para os diferentes materiais digitais, os resultados da análise estatística descritiva para a variável Índice de Incorporação (II), com os valores de média, desvios-padrão e mediana para o pré-teste (T1) e o pós-teste (T2).

**Tabela 5.28 Médias, desvios-padrão e medianas para a variável Índice de Incorporação (II), em cada um dos quatro materiais digitais de aprendizagem, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).**

Material digital	Média		Desvio-padrão		Mediana	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Tradicional	7,82	8,48	1,53	1,98	8,00	8,40
Multirrepresentação	7,64	8,46	1,24	1,68	7,60	8,80
Ciclos de interação	7,87	8,88	2,11	1,92	7,80	8,60
Multi + ciclos	8,46	9,67	2,01	2,54	8,00	8,80

Recorreu-se ao teste de postos com sinais de Wilcoxon para a variável Índice de Incorporação (II), com o objetivo de realizar comparações emparelhadas face a uma variável entre o mesmo grupo, antes e depois da intervenção (Tabela 5.29).

**Tabela 5.29 Estatística do teste de postos com sinais de Wilcoxon para a variável Índice de Incorporação (II), em cada um dos quatro materiais digitais de aprendizagem, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).**

Material digital	Classificações <sup>a</sup>			Z	Significância Assint. (Bilateral)
	Negativas	Positivas	Vínculos		
Tradicional	12	25	2	-2,501	,012
Multirrepresentação	8	27	2	-3,939	,000
Ciclos de interação	6	35	2	-4,359	,000
Multi + ciclos	5	27	2	-3,697	,000

Conforme exposto na Tabela 5.29, em todos os tipos de material digital testados, a

variável Índice de Incorporação (II) apresentou os resultados no pós-teste significativamente maiores que no pré-teste,  $p < ,05$ .

Calculou-se a magnitude de efeito ao dividir-se o valor de  $Z$  pela raiz quadrada do número de observações (Material 1 = 39 alunos, 78 observações; Material 2 = 37 alunos, 74 observações; Material 3 = 43 alunos, 86 observações; Material 4 = 34 alunos, 68 observações). Os resultados são apresentados na Tabela 5.30.

**Tabela 5.30** Magnitude de efeito para a variável Índice de Incorporação (II), em cada um dos quatro materiais digitais de aprendizagem, no pré-teste (T1) e no pós-teste (T2).

Material digital	$r$
Tradicional	0,28
Multirrepresentação	0,46
Ciclos de interação	0,47
Multi + ciclos	0,45

Observa-se que, de acordo com a tabela 5.30, a variável apresentou pequeno efeito no material 1 (tradicional) e médio efeito nos materiais 2, 3 e 4 (com inovações).

O comportamento da variável Índice de Incorporação (II), no que diz respeito à correlação com as demais variáveis, acompanha o exposto para a variável Pontuação de Produção de Texto (PPT), pois a incorporação de modos não-texto foi incipiente para uma análise quantitativa. A pontuação observada em II foi majoritariamente composta pela pontuação advinda da variável PPT.

Para verificar se houve diferença entre grupos no final da intervenção, efetuou-se o teste de Kruskal-Wallis aplicado aos resultados das avaliações de pós-teste (Tabela 5.31).

**Tabela 5.31** Posto médio obtido para as variáveis Pontuação dos Modos de Representação (PMR), Pontuação Média de Incorporação (PMI) e Índice de Incorporação (II) no pós-teste (T2).

Variável	Material digital de aprendizagem			
	tradicional	multirrepresentação	ciclos de interação	multi + ciclos
	Tamanho da amostra			
	39	37	43	34
	Posto Médio			
PMR	75,53	73,54	76,77	82,75
PMI	75,31	73,57	76,92	82,78
II	64,49	75,61	77,31	92,47

A estatística do teste, com a variável de agrupamento sendo Tipo de material digital, é exibida na Tabela 5.32.

**Tabela 5.32** Estatística do teste de Kruskal-Wallis para as variáveis Pontuação dos Modos de Representação (PMR), Pontuação Média de Incorporação (PMI) e Índice de Incorporação (II) no pós-teste (T2).

Variável	Qui-quadrado	gl	Significância Assint.
PMR	4,204	3	,240
PMI	4,276	3	,233
II	7,336	3	,062

Observa-se, na Tabela 5.32, que não foram observadas diferenças significativas entre os diferentes tipos de materiais no pós-teste quando analisadas as variáveis Pontuação dos Modos de Representação (PMR),  $H(3) = 4,20$ , e Pontuação Média de Incorporação (PMI),  $H(3) = 4,28$ . Os resultados obtidos para a variável Índice de Incorporação (II),  $H(3) = 7,34$ ,  $p = 0,062$ , sugerem que as diferenças entre os materiais se aproximaram do significativamente aceitável.

## 5.6 Análise da evolução formativa dos alunos

Nesta análise, foram consideradas as respostas dos alunos apresentadas nas avaliações utilizadas como pré-teste (T1) e pós-teste (T2), respetivamente antes e depois da intervenção, e interpretadas no sentido de atender ao objetivo específico (v) Avaliar se a utilização do material digital “Gases reais”, com a incorporação de recursos de ciclos de interação e multirrepresentação, proporciona um contexto de aprendizagem que favoreça o aumento do desempenho geral dos alunos.

A análise de alguns medidores relevantes para o desempenho do aluno, que são importantes no dia a dia escolar, são apresentados na Tabela 5.33.

**Tabela 5.33 Medidores de desempenho dos alunos, de acordo com o material digital (aulas 1, 2, 3 e 4).**

Medidor	Material digital			
	1	2	3	4
Aumento aprovação (%)	7,5	5,5	16,5	14,5
Número de alunos com incorporação de conceitos	1	2	4	5
Número de respostas com incorporação de conceitos	1	2	5	7
Número de alunos com aumento na PPT (%)	64	73	81	79
Número de alunos com aumento na Exatidão (%)	51	56	81	81
Número de alunos com aumento na Completude (%)	46	56	74	70
Número de alunos com acerto integral do gráfico (%)	20	40	28	29
Número de alunos com erro, por inversão, na elaboração do gráfico	4	2	1	1

A análise da Tabela 5.33 revela que os grupos de alunos apresentados às aulas 3 e 4 obtiveram melhores desempenhos que os demais grupos. A partir daí, procurou-se agrupar alguns desses medidores de desempenho dos alunos, como aprovação e aumento real da nota, estruturação de respostas – com termos e conceitos transmitidos pelo material –, capacidade de representação em gráficos e melhoria na qualidade das repostas (mais completas e com maior exatidão científica).

Estabeleceu-se a variável identificada por Índice de evolução formativa (IEF), com o objetivo de analisar o desempenho do estudante de uma maneira mais globalizante, ao

invés de adotar uma visão redutora, limitada a resultados isolados.

Esta variável, ainda que considere resultados individuais, incide preferencialmente sobre a essência do processo que transcorreu durante a intervenção.

O sistema de pontuação das características analisadas derivou daquele utilizado na investigação (0-3), acrescido de sinal para contabilizar apoio ou prejuízo para o processo de ensino e aprendizagem. Considera pontuação +3 se a qualidade medida está presente e contribui para o processo de aprendizagem, zero se a qualidade está ausente e -3 quando a qualidade medida está presente, mas compromete o processo de aprendizagem.

São citados e definidos, a seguir, os componentes que foram utilizados na concepção do Índice de evolução formativa (IEF).

**1) Ganho de aprovação (GanhoAprov):** este parâmetro relaciona a capacidade do material digital com o aumento da aprovação dos alunos.

Considerou-se, para a nota do aluno, a variável Pontuação de Produção de Texto (PPT), usada no guião de avaliação. Para o resultado de aprovação, foi considerada nota igual ou superior a 60 %, que é o valor adotado no colégio onde foram coletados os dados.

A pontuação utilizada para esta variável é exibida na Tabela 5.34.

**Tabela 5.34 Padrão de pontuação da variável Ganho de aprovação (GanhoAprov).**

Pré-teste	Pós-teste	GanhoAprov
reprovado	aprovado	+ 3
aprovado	aprovado	0
reprovado	reprovado	0
aprovado	reprovado	- 3

**2) Incorporação do material digital (IncorpMD):** este parâmetro está associado à capacidade de o aluno se apropriar de termos e conceitos presentes no material digital para a formulação de respostas exatas. Considerou-se o valor +3 para aqueles alunos que apresentaram, pelo menos, uma resposta, no pós-teste, com termos e conceitos nitidamente presentes no material digital e que não haviam sido usados, pelos mesmos, no pré-teste.

A pontuação utilizada para esta variável é exibida na Tabela 5.35.

**Tabela 5.35 Padrão de pontuação da variável Incorporação do material digital (IncorpMD).**

Pós-teste	IncorpMD
Pelo menos, uma resposta adequada com termos e conceitos do material digital	+ 3
Nenhuma resposta adequada com termos e conceitos do material digital	0

**3) Acréscimo de exatidão e completude (GanhoCE):** este parâmetro mede se o aluno teve respostas mais exatas e completas no pós-teste em relação ao pré-teste. É desejável que, após um contacto com o material de aprendizagem, os alunos sejam capazes de expressar suas respostas com maior exatidão e completude.

A pontuação utilizada para esta variável é exibida na Tabela 5.36.

**Tabela 5.36 Padrão de pontuação da variável Acréscimo de exatidão e completude (GanhoCE).**

Aumento de exatidão	Aumento da completude	GanhoCE
sim	sim	+ 3
sim	não	0
não	sim	0
não	não	0

**4) Acerto integral da questão 05 (Q5Certa):** este parâmetro está relacionado com a competência do aluno em responder integralmente a uma questão (05) que envolvia representação gráfica e atividade de tratamento em relação ao apresentado no material digital.

No pré-teste, nenhum aluno acertou integralmente a questão, enquanto, no pós-teste, vários alunos obtiveram nota máxima. Pela dificuldade da questão e por envolver diferentes habilidades, foi utilizada como parâmetro de evolução formativa. A pontuação utilizada para esta variável é exibida na Tabela 5.37.

**Tabela 5.37 Padrão de pontuação da variável Acerto integral da questão 05 (Q5Certa).**

<b>Questão 05 (pós-teste)</b>	<b>Q5Certa</b>
Acerto integral	+ 3
Acerto parcial, erro ou em branco	0

**5) Questão 05 invertida (Q5Invert):** este parâmetro relaciona-se com a qualidade das concepções formadas pelos alunos.

Alguns alunos responderam à questão 05, no pós-teste, com uma imagem invertida (em espelho) em relação à resposta correta. Como tal erro não foi verificado no pré-teste, considerou-se como uma influência negativa do material digital. Os alunos formaram uma imagem de como a curva se deveria comportar, mas não souberam posicioná-la corretamente em relação aos eixos.

A pontuação utilizada para esta variável é exibida na Tabela 5.38.

**Tabela 5.38 Padrão de pontuação da variável Questão 05 invertida (Q5Invert).**

<b>Questão 05 invertida</b>	<b>Q5Invert</b>
sim	- 3
não	0

O Índice de evolução formativa (IEF) reúne, então, estes 5 componentes:

$$\text{IEF} = \text{GanhoAprov} + \text{IncorpMD} + \text{GanhoCE} + \text{Q5Certa} + \text{Q5Invert}$$

Fez-se uso da análise estatística descritiva e, para os resultados das variáveis Ganho de aprovação (GanhoAprov), Incorporação do material digital (IncorpMD), Acréscimo de exatidão e completude (GanhoCE), Acerto integral da questão 05 (Q5Certa), Questão 05 invertida (Q5Invert) e Índice de evolução formativa (IEF), calcularam-se as respectivas médias, desvios-padrão e medianas para o pré-teste (T1) e o pós-teste (T2), que são exibidos na Tabela 5.39.



**Tabela 5.39 Médias, desvios-padrão e medianas para as variáveis Ganho de aprovação (GanhoAprov), Incorporação do material digital (IncorpMD), Acréscimo de exatidão e completude (GanhoCE), Acerto integral da questão 05 (Q5Certa), Questão 05 invertida (Q5Invert) e Índice de evolução formativa (IEF).**

Variável	Média	Desvio-padrão	Mediana
GanhoAprov	,31	1,20	0,00
IncorpMD	,24	0,81	0,00
GanhoCE	1,17	1,50	3,00
Q5Certa	,88	1,37	0,00
Q5Invert	-,16	0,67	0,00
IEF	2,98	2,68	3,00

N válido (listwise) 153

Procedeu-se ao teste de Kolmogorov-Smirnov para determinar se estas variáveis apresentavam distribuição normal ou não (Tabela 5.40).

**Tabela 5.40 Teste de Kolmogorov-Smirnov para as variáveis Ganho de aprovação (GanhoAprov), Incorporação do material digital (IncorpMD), Acréscimo de exatidão e completude (GanhoCE), Acerto integral da questão 05 (Q5Certa), Questão 05 invertida (Q5Invert) e Índice de evolução formativa (IEF).**

Variável	Absoluto	Positivo	Negativo	Estatística do teste <sup>a,b</sup>
GanhoAprov	,466	,466	-,364	,466
IncorpMD	,536	,536	-,386	,536
GanhoCE	,376	,305	-,376	,376
Q5Certa	,446	,446	-,260	,446
Q5Invert	,540	,407	-,540	,540
IEF	,228	,216	-,228	,228

N válido (listwise) 153

a. Correção de Significância de Lilliefors.

b.  $p < 0,001$

Observa-se, na Tabela 5.40, que a análise, no SPSS, para todas as variáveis consideradas, foi significativamente não-normal,  $p < 0,01$ .

Analisou-se a correlação entre as diferentes variáveis com o teste não-paramétrico  $\rho$

de Spearman. A tabela 5.41 resume as correlações apresentadas. A tabela completa é apresentada no Apêndice.

**Tabela 5.41 Coeficientes de correlação de  $\rho$  de Spearman entre as variáveis Ganho de aprovação (GanhoAprov), Incorporação do material digital (IncorpMD), Acréscimo de exatidão e completude (GanhoCE), Acerto integral da questão 05 (Q5Certa), Questão 05 invertida (Q5Invert) e Índice de evolução formativa (IEF).**

Variável	GanhoAprov	IncorpMD	GanhoCE	Q5Certa	Q5Invert	IEF
<b>GanhoAprov</b>	1	Ns	,26**	Ns	Ns	,48**
<b>IncorpMD</b>	153	1	Ns	Ns	Ns	,36**
<b>GanhoCE</b>	153	153	1	Ns	Ns	,73**
<b>Q5Certa</b>	153	153	153	1	Ns	,39**
<b>Q5Invert</b>	153	153	153	153	1	,23**
<b>IEF</b>	153	153	153	153	153	1

Ns = não significativa ( $p > ,05$ ), \*\* $p < ,01$  (bilateral).

Observa-se, na Tabela 5.41, que IEF foi correlacionado significativamente com as variáveis GanhoAprov,  $r = ,48$ , IncorpMD,  $r = ,36$ , GanhoCE,  $r = ,73$ , Q5Certa,  $r = ,39$  e Q5Invert,  $r = ,23$ ; a variável GanhoAprov também foi correlacionada com GanhoCE,  $r = ,26$  (todas  $p < 0,01$ ).

Efetuuou-se o teste de Kruskal-Wallis aplicado aos resultados do Índice de evolução formativa (IEF), para verificar se havia diferença entre os grupos que utilizaram os tipos de materiais (Tabela 5.42).

**Tabela 5.42 Posto médio obtido para a variável Índice de evolução formativa (IEF).**

	Material digital	N	Posto Médio
Indicador	1	39	62,54
	2	37	70,14
	3	43	86,53
	4	34	89,00
	Total	153	

A estatística do teste, com a variável de agrupamento sendo Tipo de material digital,

é apresentada na Tabela 5.43.

**Tabela 5.43 Estatística do teste de Kruskal-Wallis para a variável Índice de evolução formativa (IEF).**

	IEF
Qui-quadrado	10,767
gl	3
Significância Assint.	,013

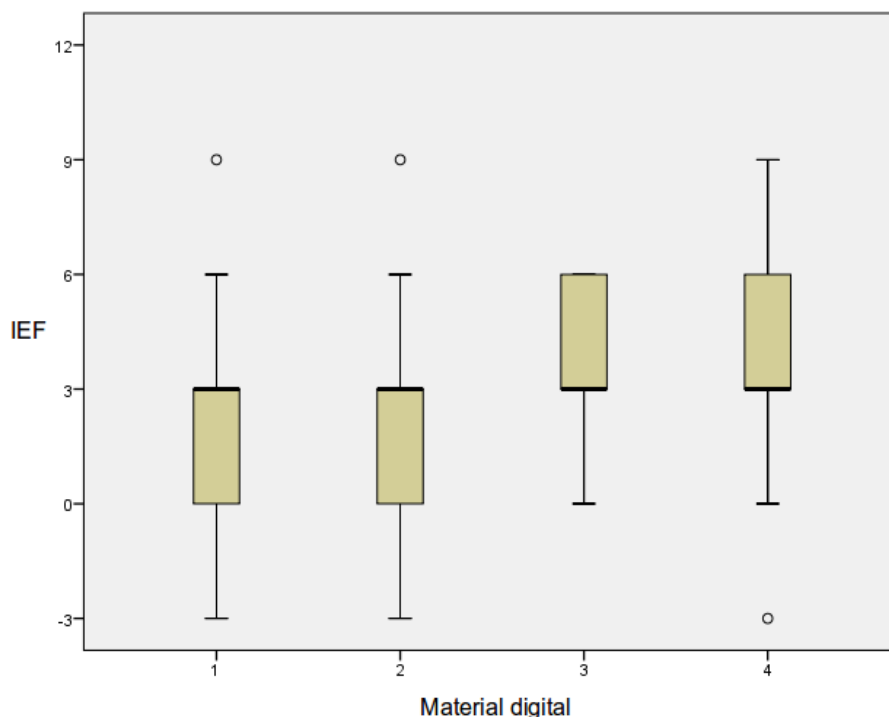
Verifica-se, a partir da Tabela 5.43, que o Índice de evolução formativa foi significativamente afetado pelo tipo de material,  $H(3) = 10,77$ ,  $p < 0,05$ .

Uma maneira de ver que tipos de materiais digitais diferem é analisar um gráfico do tipo *boxplot*, ou gráfico de caixa. Este tipo de gráfico, segundo Field (2009), traz a mediana no centro, cercada por uma caixa, cujos limites inferior (primeiro quartil) e superior (terceiro quartil) agrupam 50 % das observações (intervalo interquartil). Duas hastes saem da parte inferior e superior da caixa e estendem-se para as pontuações menos e mais extremas, respetivamente. Os pontos que ficam fora destes limites são considerados discrepantes (*outliers*).

Observam-se, conforme exibido no Gráfico 5.1, alguns valores atípicos, representados pelos círculos que se situam além das hastes superior e inferior. As medianas dos grupos são iguais, mas os dados dos materiais digitais 1 e 2 são negativamente assimétricos, visto que a mediana está próxima do terceiro quartil, enquanto os dados dos materiais digitais 3 e 4 são positivamente assimétricos, visto que a mediana está próxima do primeiro quartil.

Almeja-se que o material digital tenha contribuído para uma evolução formativa dos alunos, ou seja, o resultado seja igual ou maior que 3. Este resultado foi obtido por 54 % dos alunos apresentados ao material digital 1 (tradicional), 68 % dos alunos apresentados ao material digital 2 (multirrepresentação), 88 % dos alunos apresentados ao material digital 3 (ciclos de interação) e 79 % dos alunos apresentados ao material digital 4 (ciclos + multi).

**Gráfico 5.1 Índice de evolução formativa (IEF) para os quatro tipos de materiais digitais de aprendizagem.**



No entanto, Field (2009) adverte que estas conclusões podem ser subjetivas e sugere a utilização de testes *post hoc*. Os testes indicados são o de Mann-Whitney e o de soma de postos de Wilcoxon. O princípio dos dois testes baseia-se na classificação dos dados, sem interessar o grupo ao qual pertence. Caso não haja diferença entre os grupos, espera-se encontrar um número similar de classificações altas e baixas em cada grupo e, se se somar estas classificações, o esperado é que o total em cada grupo seja aproximadamente o mesmo. Se houver diferença entre os grupos, as classificações mais altas concentram-se em um grupo e as classificações mais baixas concentram-se em outro e, assim, a soma das classificações de um grupo será maior do que no outro.

Fez-se um ajustamento para assegurar que o erro Tipo I não ultrapasse 0,05. Adotou-se a correção de Bonferroni, sugerida por Field (2009), em que se utiliza o valor crítico de 0,05 dividido pelo número de testes conduzidos.

Optou-se por comparar o material digital tradicional (1) com aquelas que propuseram inovações, o que resultou em três testes (materiais digitais 1 e 2, materiais digitais 1 e 3, materiais digitais 1 e 4). Usou-se, então,  $0,05/3 = 0,0167$ , o que tornou o valor crítico mais restritivo. Os resultados são apresentados na Tabela 5.44.

**Tabela 5.44** Teste de Mann-Whitney e teste da soma dos postos de Wilcoxon para materiais digitais 1 e 2, materiais digitais 1 e 3 e materiais digitais 1 e 4.

<b>Materiais digitais comparados</b>	<b>U de Mann-Whitney</b>	<b>Wilcoxon</b>	<b>Z</b>	<b>Significância Assint. (Bilateral)</b>
1 e 2	647,500	1427,500	-,810	,418
1 e 3	563,500	1343,500	-2,735	,006
1 e 4	448,000	1228,000	-2,484	,013

Observa-se, na Tabela 5.44, que o Índice de evolução formativa (IEF) dos alunos submetidos ao material 2 (Mdn = 0,00) não difere significativamente do IEF dos alunos submetidos ao material 1 (Mdn = 0,00),  $U = 647,50$ ,  $Z = -0,81$ ,  $p > 0,0167$ . O IEF dos alunos submetidos ao material 3 (Mdn = 0,00) é significativamente maior do que o IEF dos alunos submetidos ao material 1 (Mdn = 0,00),  $U = 563,50$ ,  $Z = -2,74$ ,  $p < 0,0167$  e o IEF dos alunos submetidos ao material 4 (Mdn = 3,00) é significativamente maior do que o IEF dos alunos submetidos ao material 1 (Mdn = 0,00),  $U = 448,00$ ,  $Z = -2,48$ ,  $p < 0,0167$ .

O resultado encontrado confirma aquilo que o Gráfico 5.1 delineava como uma possibilidade.

## 5.7 Análise qualitativa das respostas

Admitiu-se, anteriormente, que a investigação apresenta uma componente de análise qualitativa das respostas, com o objetivo de observar o nível de competência representacional dos alunos, procurando analisar a qualidade e abordagem das diferentes representações. Aponta-se, agora, o levantamento feito a partir de uma leitura atenta a estes detalhes.

Ao todo, 18 alunos utilizaram a multirrepresentação no pré-teste. As representações não-texto corresponderam à equação química (1 vez), fórmulas matemáticas (2 vezes) e figuras (15 vezes). As figuras situam-se nos níveis icónico (1 vez), simbólico (11 vezes) e sintático (2 vezes), de acordo com a classificação de Kozma e Russell (2005). Deste total, apenas 6 alunos usaram multirrepresentação apropriadamente.

No pós-teste, 12 alunos utilizaram a multirrepresentação, dos quais 11 fizeram-no de

maneira apropriada. As representações não-texto corresponderam ao uso de gráficos (2 vezes) e fórmulas matemáticas (2 vezes), todos no nível argumentativo, e figuras (8 vezes), com uso nos níveis simbólico e sintático.

Dos 18 alunos que utilizaram multirrepresentação no pré-teste, apenas 2 mantiveram o uso deste recurso no pós-teste, sendo um deles com incorporação de novas representações e com uso mais robusto.

Verificou-se, portanto, aumento do número de alunos que utilizaram adequadamente a multirrepresentação, além do aumento da qualidade das representações e do uso para funções de promover abstração, viabilizar generalização e relacionar as representações, o que, segundo Ainsworth (1999), permite um profundo entendimento da situação. Estas representações foram usadas de forma original, com critérios que os alunos julgaram importantes para sua escolha.

Observou-se, no pós-teste, a utilização de termos específicos utilizados no material de aprendizagem e de explicações construídas a partir da lógica do material. As expressões foram usadas dentro das respostas elaboradas pelos alunos, sinalizando uma apropriação com contextualização e internalização de conceitos, sem ser simplesmente por memorização. A Tabela 5.45 apresenta o uso apropriado de representações e de termos e explicações embasados no material digital de aprendizagem, no pós-teste.

**Tabela 5.45 Uso apropriado de representações e de termos e explicações embasados no material digital de aprendizagem, em número absoluto de ocorrência, em cada um dos materiais digitais de aprendizagem, no pós-teste.**

<b>Material digital</b>	<b>Representações não-texto</b>	<b>Termos</b>	<b>Explicações</b>
Tradicional	3	2	1
Multirrepresentação	3	1	2
Ciclos de interação	3	2	5
Multi + ciclos	3	1	7

Observa-se, a partir da Tabela 5.45, nos alunos que utilizaram o material digital com recurso de ciclos de interação apenas e no material com recurso de ciclos de interação e multirrepresentação, um aumento do uso de explicações construídas a partir de argumentos expostos no material.

## **CAPÍTULO VI**

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

## 6.1 Conclusões

Esta investigação pretendeu contribuir com conhecimento que potencialize a utilização de tecnologia educacional para o ensino básico, embasado em prática pedagógica que assegure a melhoria do fluxo escolar e a aprendizagem, com preferência para recursos educacionais abertos.

Dado o destaque do CAp-Coluni como escola pública no Brasil, seja na formação dos alunos, seja no atendimento a professores em formação inicial e continuada, buscou-se maneiras para potencializar o uso do ambiente virtual de aprendizagem disponível nesta instituição. Pretendeu-se a elaboração de um material digital de aprendizagem, para ser usado no curso de química, que pudesse transpor um pouco da riqueza e complexidade do processo de construção do discurso científico que ocorre em sala de aula, como interações, reflexões e conexão entre ideias, e, tratando-se de uma ciência em que as representações têm uma grande importância para o seu entendimento, procurou-se favorecer o desenvolvimento desta competência representacional nos alunos.

Acreditou-se que o material de aprendizagem, com estas qualidades aliadas, se constituísse como potencialmente significativo e permitisse ao aluno estabelecer significados novos a partir da interação entre seus conhecimentos prévios e o material, e que o aluno conseguisse expressar o resultado desta interação a partir de representações autênticas.

Em relação ao primeiro objetivo específico – “Descrever o uso de ciclos de interação em material digital de aprendizagem e estabelecer as possibilidades e situações de uso” – considerou-se a sua consecução.

Vários recursos foram propostos, como iniciações, transições entre o mundo dos objetos e eventos e o mundo das teorias e modelos, relação entre diferentes referentes, as operações de discutir/explicar/generalizar, identificação das intenções do material. Nas diferentes telas do material, foram abordadas as formas de utilização destes recursos, no sentido de favorecer a internalização de ideias a partir do contacto daquilo que o material apresenta com o que o aluno traz consigo. O material ficou menos transmissivo e mais comunicativo.

Em relação ao segundo objetivo específico – “Descrever o uso de multirrepresentação em material digital de aprendizagem e estabelecer as possibilidades e



---

situações de uso” – se também considerou a sua consecução.

A multirrepresentação foi usada sempre que necessário para favorecer a abstração, complementar alguma informação, refinar o entendimento. As representações não-texto foram utilizadas para favorecer o uso em níveis mais elevados, muitas vezes com poder argumentativo. Buscou-se sempre a coordenação de diferentes registros semióticos, com ênfase para a conversão.

O uso dos tipos de recursos, simultaneamente, mostrou ser possível e adequado para estabelecer conexões entre diferentes registros e reforçar o ritmo discutir/trabalhar/rever.

Em relação ao terceiro objetivo específico – “Avaliar se a utilização do material digital 'Gases reais', com a incorporação destes recursos, proporciona aos alunos um contexto de aprendizagem que favoreça a aquisição de conceitos” –, considera-se que foi parcialmente corroborado.

Os grupos que tiveram contacto com os diferentes materiais digitais de aprendizagem não apresentaram diferenças, à partida. Os resultados no pós-teste foram significativamente maiores do que no pré-teste, para todas as variáveis (Obrigatoriedade, Correção gramatical, Exatidão, Completude, Pontuação de Produção de Texto e Ganho de aprendizagem). Os grupos, no entanto, não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre si.

Quando analisada a magnitude de efeito, a variável Pontuação de Produção de Texto apresentou valores maiores para os grupos que tiveram contacto com os materiais com inovações (ciclos de interação e multirrepresentação). Como a capacidade de qualquer teste de significância para detetar um efeito depende inteiramente da potência estatística proporcionada pelo tamanho da amostra (Maher *et al.*, 2013), no presente estudo, em que as amostras eram pequenas, a análise da magnitude de efeito concedeu confiança aliada à significância prática da diferença entre as variáveis.

Em relação ao quarto objetivo específico – “Avaliar se a utilização do material digital 'Gases reais', com a incorporação destes recursos, proporciona aos alunos um contexto de aprendizagem que favoreça o desenvolvimento de habilidade representacional” –, os resultados não foram claramente identificáveis. O pequeno contacto dos alunos com o material de aprendizagem (uma sessão de 50 minutos) pode não ter sido suficiente para os sensibilizar e deixar fluentes quanto ao uso de representações não-texto. Apesar disto, a variável Índice de Incorporação (II) apresentou resultado próximo do significativamente

aceitável ( $p = 0,06$ ), aquando da comparação entre os diferentes tipos de material de aprendizagem no pós-teste.

A análise qualitativa das respostas mostrou-se mais útil para perceber alguma influência do material digital de aprendizagem sobre a competência representacional. Observou-se um aumento do número de alunos que utilizaram adequadamente a multirrepresentação e é de ressaltar o aumento da qualidade das representações e o seu uso para funções de promover abstração, viabilizar generalização e relacionar as representações, muitas vezes com características argumentativas.

Em relação ao quinto objetivo específico – “Avaliar se a utilização do material digital “Gases reais”, com a incorporação destes recursos, proporciona aos alunos um contexto de aprendizagem que favoreça o aumento do desempenho geral dos alunos ” – considerou-se a sua consecução. Constatou-se, através do teste de Kruskal-Wallis, que a variável Índice de evolução formativa (IEF) foi significativamente afetada pelo tipo de material. Testes *post hoc* (Mann-Whitney e o de soma de postos de Wilcoxon) indicaram que os IEF dos alunos que interagiram com os materiais 3 (ciclos de interação) e 4 (ciclos + multirrepresentação) foram significativamente maiores do que o IEF dos alunos que interagiram com o material 1 (tradicional). Considera-se, portanto, que o material digital tenha contribuído para uma evolução formativa dos alunos, com aumento do desempenho geral.

Valores negativos para o IEF indicam a prevalência de efeitos indesejáveis (como diminuição da taxa de aprovação, não ocorrência de acréscimos de exatidão e completude das respostas). O valor zero indica que efeitos indesejáveis anularam os desejáveis. Valores iguais ou maiores que 3 indicam que os efeitos desejáveis foram superiores. Na presente investigação, valores iguais ou maiores que 3 foram obtidos por 54 % dos alunos apresentados ao material digital 1 (tradicional), 68 % dos alunos apresentados ao material digital 2 (multirrepresentação), 88 % dos alunos apresentados ao material digital 3 (ciclos de interação) e 79 % dos alunos apresentados ao material digital 4 (ciclos + multi).

Sendo assim, a hipótese geral 1 – “o uso de material digital contendo recursos de ciclos de interação e de multirrepresentação favorece a aquisição de conceitos pelos alunos que utilizam este material” – não foi comprovada. A hipótese geral 2 – “o uso de material digital contendo recursos de ciclos de interação e de multirrepresentação potencializa a capacidade representacional dos alunos que utilizam este material” – não foi comprovada. A hipótese geral 3 – “o uso de material digital contendo recursos de ciclos de interação e de multirrepresentação promove ganhos no desempenho geral dos alunos que utilizam este material” – foi comprovada.

## 6.2 Limitações do estudo

Tuckman (2012) expõe que o tamanho da amostra deve ser capaz de evidenciar a diferença, caso exista, prevista na hipótese. O presente estudo decorreu em contexto escolar, com turmas já formadas, sem a possibilidade de constituir aleatoriamente os grupos necessários à investigação e teve à disposição um número limitado de alunos. O tamanho reduzido da amostra pode ter comprometido a potência dos testes estatísticos, o que diminui a capacidade de significância para detetar um determinado efeito, segundo Maher *et al.* (2013), que acrescenta o alerta de que a dependência completa do teste de significância estatística limita o entendimento e a aplicabilidade dos resultados da pesquisa na prática educacional, porque o resultado numérico do teste ganha mais destaque do que a questão do significado prático.

A qualidade do material digital de aprendizagem chamado tradicional pode não ter sido adequada e pode ter mascarado eventuais diferenças relativamente aos outros materiais contendo as inovações propostas. Por questões éticas, o estudo ficou impossibilitado de administrar a intervenção a uma parte dos alunos, recusando-a à outra, ou mesmo oferecendo material de qualidade duvidosa.

Os alunos do colégio utilizado para a investigação apresentam um rendimento diferenciado em relação à media dos alunos de outros colégios, o que é comprovado por exames oficiais. O perfil da amostra compromete a validade externa e compromete a tentativa de uma generalização. Tuckman (2012) chama a atenção para os efeitos interativos da distorção da seleção e, se o objetivo fosse manter a validade externa, seria necessária uma amostra representativa de uma população alargada.

A utilização de pré-teste constitui-se como ameaça às validades interna e externa. De acordo com Tuckman (2012), a validade interna afeta a certeza do investigador relativamente ao facto de os resultados poderem ser aceites com base no *design* da investigação e a validade externa afeta a capacidade do investigador para confiar nos resultados da investigação com vista à sua generalização, tendo como base os processos utilizados.

A experiência do pré-teste, de acordo com Tuckman (2012), pode aumentar a probabilidade de os sujeitos melhorarem o seu desempenho no pós-teste subsequente, principalmente no caso desta investigação, em que o pós-teste foi idêntico ao pré-teste e aplicado logo em seguida. Assim, fica a dúvida sobre quão a melhoria no desempenho

observado foi consequência da intervenção (aula virtual) ou do pré-teste. Além disso, ainda com base em Tuckman (2012), em outro conjunto de condições em que o pré-teste não tivesse sido aplicado, o tratamento poderia não ter os mesmos efeitos, o que afeta a validade externa.

A elaboração do material digital de aprendizagem não contou com uma equipa de multimídia de apoio. O resultado, em termos de *layout*, poderia ser diferente com a colaboração de equipa especializada.

A escolha de um tema específico, de tamanho reduzido, se, por um lado, facilitou a operacionalização da investigação, por outro lado, comprometeu a abrangência do estudo e a verificação do potencial de utilização dos recursos propostos em diferentes situações.

A elaboração do material poderia ter aprofundado mais um dos critérios de usabilidade pedagógica de Nokelainen (2006), a aprendizagem colaborativa/cooperativa, e incentivado estratégias em que o aluno pudesse estudar com outros aprendizes para alcançar as metas de aprendizagem em comum.

### **6.3 Sugestões para investigações futuras**

O estudo objetivou ser uma contribuição para o ensino de química no nível básico, mas que possa ser, também, um apoio para futuras discussões em outras ciências e em outros níveis de escolaridade.

O entendimento de algumas relações da construção do discurso no ensino de ciências, levantadas nesta investigação, poderá contribuir, em futuros estudos, para a ampliação de aplicabilidade a outras partes da química.

A utilização de equipa multidisciplinar, com a participação de professores, especialistas em tecnologia, profissionais da área de educação química e ensino de ciências, poderá possibilitar a otimização da implementação dos recursos propostos, aliados a outros que, porventura, sejam pertinentes.

Estudos comparativos com experiências em outros países poderiam acrescentar novas luzes ao tema abordado e a tradução do material digital para a língua inglesa poderia alargar seu potencial de utilização e alcance.

O estudo tem grande potencial para ser utilizado com professores em formação, estabelecendo-se uma linha de investigação quanto à aceitação, perspectiva e possibilidades de uso de material digital e quanto às concepções dos futuros professores a respeito dos recursos de ciclos de interação e multirrepresentação.

Espera-se que a experiência advinda desta pesquisa em ensino de ciências possa contribuir para oportunas discussões também no campo da divulgação de ciências, pois as discussões sobre ciclos de interação e multirrepresentação podem contribuir para o desenvolvimento de formas de suporte ao processo de construção de significados na divulgação das ciências.

Por fim, que as discussões apresentadas nesta investigação possam estimular novos questionamentos e servir de estímulo ao aprofundamento do entendimento das relações entre as TIC e o processo de ensino e aprendizagem.



## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Abreu, A. C. B. (2010). *Avaliação de usabilidade em softwares educativos*. Dissertação (Mestrado Integrado Profissional em Computação Aplicada). Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Diretoria de Graduação e Pós-Graduação. Fortaleza.
- Adam, T. & Tatnall, A. (2017). The value of using ICT in the education of school students with learning difficulties. *Education and Information Technologies*, 1–16.
- Aguiar, O. G., Mortimer, E. F. & Scott, P. (2010). Learning from and responding to students' questions: The authoritative and dialogic tension. *Journal of Research in Science Teaching*, 47 (2), 174–193.
- Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers & Education*, 33 (2-3), 131–152.
- Alcañiz, E. J. (2003). *Enlace químico y estructura de la materia*. Universidad de Alcalá.
- Almeida, M. E. B (2008). Educação e tecnologias no Brasil e em Portugal em três momentos de sua história. *Educação, Formação & Tecnologias*; 1 (1), 23–36.
- Aslan, A. & Zhu, C. (2017). Investigating variables predicting Turkish pre-service teachers' integration of ICT into teaching practices. *British Journal of Educational Technology*, 48 (2), 552–570.
- Atkins, P. W. & de Paula, J. (2006). *Atkins' physical chemistry (8.<sup>a</sup> ed.)*. Oxford, Oxford University Press.
- Ausubel, D. P. (2003). *Aquisição e retenção de conhecimentos*. Lisboa, Plátano Edições Técnicas.
- Barbosa, E. F. & Moura, D. G. (2013). Metodologias ativas de aprendizagem na educação profissional e tecnológica. *Boletim Técnico do Senac*, Rio de Janeiro, 39 (2), 48–67.
- Barry, A. E., Szucs, L. E., Reyes, J. V., Ji, Q., Wilson, K. L. & Thompson, B. (2016). Failure to report effect sizes: The handling of quantitative results in published health education and behavior research. *Health Education and Behavior*, 43 (5), 518–527.
- Bidarra, J. & Rusman, E. (2017). Towards a pedagogical model for science education: Bridging educational contexts through a blended learning approach. *Open Learning*, 32 (1), 6–20.
- Barker, B. (2007). *Peterson's Master AP Chemistry (2.<sup>a</sup> ed.)*. Peterson's, Nelnet company.



- Brown, T. L., LeMay Jr., H. E., Bursten, B. E. & Burdge, J. R. (2004). *Química. La ciencia central*. México, Pearson Educación.
- Cambrón, A. M. & Macías, S. B. (2015). Retos y problemáticas de la introducción de la educación mediática en los centros de secundaria. *Revista de Educación*, 2015 (369), 129–150.
- Camilleri, M. A. & Camilleri, A. C. (2017). Digital learning resources and ubiquitous technologies in education. *Technology, Knowledge and Learning*, 22 (1), 65–82.
- Castellan, G. (2001). *Fundamentos de físico-química*. Rio de Janeiro, LTC.
- Chang, R. & Goldsby, K. A. (2011). *Química (11.ª ed.)*. Porto Alegre - RS, AMGH Editora Ltda.
- Cho, H. S. & Nam, J. (2017). Analysis of students use of multimodal representations in a science formative assessment (assessing pupils' progress, APP) task in the UK. *Journal of the Korean Chemical Society*, 61 (4), 211–217.
- Coca, D. M. (2015). Estudio de las motivaciones de los estudiantes de secundaria de física y química y la influencia de las metodologías de enseñanza en su interés. *Educación XX1*, 18 (2), 215–235.
- Cohen, B. H. & Lea, R. B. (2004). *Essentials of statistics for the social and behavioral sciences*. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.
- Cohen, L., Manion, L. & Morrison, K. (2007). *Research methods in education (6.ª ed.)*. Inglaterra, Taylor & Francis Group.
- de Góes, F. S. N., Fonseca, L. M. M., Furtado, M. C. C., Leite, A. M. & Scochi, C. G. S (2011). Avaliação do objeto virtual de aprendizagem “Raciocínio diagnóstico em enfermagem aplicado ao prematuro”. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 19 (4), obtido em <http://rlae.eerp.usp.br/>.
- de Góes, F. S. N., Fonseca, L. M. M., de Camargo, R. A. A., de Oliveira, G. F. & Felipe, H. R. (2015). Educational technology “Anatomy and Vital Signs”: Evaluation study of content, appearance and usability. *International Journal of Medical Informatics*, 84 (11), 982–987.
- Demirbag, M. & Gunel, M. (2014). Integrating argument-based science inquiry with modal representations: Impact on science achievement, argumentation, and writing skills.

- Educational Sciences: Theory & Practice*, 14 (1), 386–391.
- Donnelly, D., McGarr, O & O'Reilly, J. (2011) A framework for teachers' integration of ICT into their classroom practice. *Computers & Education*, 57 (2011), 1469–1483.
- Dreher, A., Kuntze, S. & Lerman, S. (2016). Why use multiple representations in the mathematics classroom? Views of English and German preservice teachers. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14, 363–382.
- du Plessis, A. (2016). Student-teachers' pedagogical beliefs: Learner-centred or teacher-centred when using ICT in the science classroom? *Journal of Baltic Science Education*, 15 (2), 140–158.
- Durlak, J. A (2009). How to select, calculate, and interpret effect sizes. *Journal of Pediatric Psychology*, 34 (9), 917–928.
- Duval, R. (2012). Registros de representação semiótica e funcionamento cognitivo do pensamento. Tradução: Mércles Thadeu Moretti. *Revista Eletrônica de Educação Matemática*, 07 (2), 266–297.
- Edwards, N. (2015). Multimodality in science education as productive pedagogy in a PGCE programme. *Perspectives in Education*, 33 (3), 159–175.
- Ekici, F. T. & Pekmezci, S. (2015). Using ICT-supported narratives in teaching science and their effects on middle school students. *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 14 (4), 173–186.
- Engel, T. & Reid, P. (2006). *Química Física*. Madrid, Pearson Educación.
- Esteves, C. M. A. (2012). *O b-learning como modalidade válida de aprendizagem no 1.º ciclo do ensino básico: Estudo de caso com uma turma do 3.º ano de escolaridade*. Bragança: Escola Superior de Educação. Dissertação de Mestrado em TIC na Educação e Formação. Obtido em [https://bibliotecadigital-ipb.pre.rcaap.pt/handle / 10198/7666](https://bibliotecadigital-ipb.pre.rcaap.pt/handle/10198/7666).
- Field, A. P. (2009). *Discovering statistics using IBM SPSS Statistics: And sex and drugs and rock 'n' roll* (3.<sup>a</sup> ed.). Los Angeles, SAGE.
- Fozdar, B. I. (2015). Open and distance learning (ODL): A strategy of development through its potential role in improving science & technology knowledge. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 10 (2), 9–16.

- Francisco, L. & Benitti, F. B. V. (2014). *Usability evaluation in Brazil: A systematic mapping [Avaliações de usabilidade no Brasil: Um mapeamento sistemático]*. In Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI. Barcelona, IEEE Computer Society. Obtido em <http://doi.org/10.1109/CISTI.2014.6877047>.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and modelling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2, 115–130.
- Giordan, M. (2015). Análise e reflexões sobre os artigos de educação em química e multimídia publicados entre 2005 e 2014. *Química Nova na Escola*, 37 (2), 154–160.
- Groff, J. & Mouza, C. (2008). A framework for addressing challenges to classroom technology use. *Association for the Advancement of Computing in Education Journal*, 16 (1), 21–46.
- Grove, N. P. & Lowery Bretz, S. (2012). A continuum of learning: From rote memorization to meaningful learning in organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 13 (3), 201–208.
- Guruceaga Zubillaga, A. & González García, F. (2011). Un módulo instruccional para un aprendizaje significativo de la energía. *Enseñanza de las Ciencias*, 29 (2), 175–190.
- Guruceaga, A. & González, F. M. (2004). Aprendizaje significativo y educación ambiental: análisis de los resultados de una práctica fundamentada teóricamente. *Enseñanza de las Ciencias*, 22 (1), 115–136.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación (5.ª ed.)*. México, McGraw-Hill Interamericana.
- Hill, M. & Sharma, M. D. (2015). Students' representational fluency at university: A cross-sectional measure of how multiple representations are used by physics students using the representational fluency survey. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 11 (6), 1633–1655.
- Hill, M. H. & Hill, A. (1998). *Investigação empírica em ciências sociais: Um guia introdutório*. Lisboa, Dinâmia.
- Hinostroza, J. E., Ibieta, A. I., Claro, M. & Labbé, C. (2016). Characterisation of teachers' use of computers and Internet inside and outside the classroom: The need to focus on the quality. *Education and Information Technologies*, 21 (6), 1595–1610.

- ISO 9241-11 (1998). Obtido em <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-11:ed-1:v1:en>.
- Jaakkola, T. & Veermans, K. (2015). Effects of abstract and concrete simulation elements on science learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 31 (4), 300–313.
- Jensen, W. B. (2003). The universal gas constant R. *Journal of Chemical Education*, 80, 731–732.
- Kibar, Z. B., Yaman, F. & Ayasc, A. (2013). Assessing prospective chemistry teachers' understanding of gases through qualitative and quantitative analyses of their concept maps. *Chemistry Education Research and Practice*, 14, 542–554.
- Koehler, M. J. & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9 (1), 60–70.
- Kozma, R. & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: developing representational competence. In J. K. Gilbert (ed.), *Visualization in science education* (121–145). Dordrecht, Netherlands, Springer.
- Kurt, S. (2013). Examining teachers' use of computer-based technologies: A case study. *Education and Information Technologies*, 18, 557–570.
- Laburú, C. E., Barros, M. A. & Silva, O. H. M. (2011). Multimodos e múltiplas representações, aprendizagem significativa e subjetividade: Três referenciais conciliáveis da educação científica. *Ciência & Educação*, 17 (2), 469–487.
- Levine, I. N. (2009). *Physical chemistry* (6.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Liang, J.-C., Chou, C.-C. & Chiu, M.-H. (2011). Student test performances on behavior of gas particles and mismatch of teacher predictions. *Chemistry Education Research and Practice*, 12 (2), 238–250.
- Lin, H.-S. & Cheng, H.-J., (2000). The assessment of students and teachers' understanding of gas laws. *Journal of Chemical Education*, 77 (2), 235–238.
- López, V. & Pintó, R. (2017). Identifying secondary-school students' difficulties when reading visual representations displayed in physics simulations. *International Journal of Science Education*, 1–28.
- MacCarthy, B. L., Lewis, M., Voss, C. & Narasimhan, R. (2013). The same old methodologies? Perspectives on OM research in the post-lean age. *International Journal of Operations and Production Management*, 33 (7), 934–956.

- Maher, J. M., Markey, J. C. & Ebert-May, D. (2013). The other half of the story: Effect size analysis in quantitative research. *CBE – Life Sciences Education*, 12, 345–351.
- McDermott, M. A. & Hand, B. (2013). The impact of embedding multiple modes of representation within writing tasks on high school students' chemistry understanding. *Instructional Science*, 41 (1), 217–246.
- Mortimer, E. F. & Scott, P. (2002). Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: Uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7 (3), 283–306.
- Mortimer, E., Massicame, T., Buty, C. & Tiberghien, A. (2005). *Uma metodologia de análise e comparação entre a dinâmica discursiva de salas de aulas de ciências utilizando software e sistema de categorização de dados em vídeo: Parte 1, dados quantitativos*. V Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências – S. P., Bauru: 2005. Atas.
- Mortimer, R. G. (2008). *Physical chemistry* (3.<sup>a</sup> ed.). Elsevier Academic Press.
- Namdar, B. & Shen, J. (2016). Intersection of argumentation and the use of multiple representations in the context of socioscientific issues. *International Journal of Science Education*, 38 (7), 1100–1132.
- Nielsen, J. (2003). *Usability 101: Introduction to usability*. Obtido em <http://tfa.stanford.edu/download/IntroToUsability.pdf>.
- Nokelainen, P. (2006). An empirical assessment of pedagogical usability criteria for digital learning material with elementary school students. *Educational Technology & Society*, 9 (2), 178–197.
- Novak, J. D. & Gowin, D. B. (1996). *Aprender a aprender*. Lisboa, Plátano.
- Okumuş, S., Lewis, L., Wiebe, E. & Hollebrands, K. (2016). Utility and usability as factors influencing teacher decisions about software integration. *Educational Technology Research and Development*, 64 (6), 1227–1249.
- Oliveira, A. M. C. & Tinoca, L. (2010). *As implicações do b-learning no sucesso, satisfação e motivação dos alunos do 3.º Ciclo do ensino básico: Um estudo exploratório nos concelhos de Rio Maior e Santarém*. II Congresso Internacional TIC e Educação. Obtido em <http://ticeduca.ie.ul.pt/atas/pdf/186.pdf>.

- Paiva, J. C. & Costa, L. A. (2010). Exploration guides as a strategy to improve the effectiveness of educational software in chemistry. *Journal of Chemical Education*, 87 (6), 589–591.
- Peres, P., Lima, L. & Lima, V. (2014). *B-learning quality: dimensions, criteria and pedagogical approach*. Obtido em <http://pt.scribd.com/doc/218786202/B-learning-Quality-Dimensions-Criteria-and-Pedagogical-Approach-Traducao-Resumo>.
- Petrucci, R. H., Herring, F. G, Madura, J. D & Bissonnette, C. (2011). *Química geral* (10.<sup>a</sup> ed.). Madrid, Pearson Educación.
- Pilcher, N. & Cortazzi, M. (2016). Dialogues: QUANT researchers on QUAL methods. *The Qualitative Report*, 21 (3), 450–473.
- Pinto, R. M. N. (2009). *Avaliação da usabilidade e da acessibilidade do site educativo: RPEDU, matemática para alunos do 3.º ciclo do ensino básico*. Dissertação para mestrado em Tecnologia Educativa. Braga, Universidade do Minho.
- Pires, M. A. & Veit, E. A. (2006). Tecnologias de informação e comunicação para ampliar e motivar o aprendizado de física no ensino médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28 (2), 241–248.
- Prain, V. & Waldrip, B. (2006). An exploratory study of teachers' and students' use of multi-modal representations of concepts in primary science. *International Journal of Science Education*, 28 (15), 1843–1866.
- Privat, R., Jaubert, J.-N. & Moine, E. (2016). Improving students' understanding of the connections between the concepts of real-gas mixtures, gas ideal-solutions, and perfect-gas mixtures. *Journal of Chemical Education*, 93, 2040–2045.
- Ribeiro, C. (2003). Metacognição: Um apoio ao processo de aprendizagem. *Psicologia: Reflexão e Crítica*, 16 (1), 109–116.
- Rowlinson, J. S. (2010). James Joule, William Thomson and the concept of a perfect gas. *Notes and Records of the Royal Society of London*, 64, 43–57.
- Scott, P., Mortimer, E. & Ametller, J. (2011). Pedagogical link-making: a fundamental aspect of teaching and learning scientific conceptual knowledge. *Studies in Science Education*, 47 (1), 3–36.
- Shehab, S. S. & BouJaoude, S. (2017). Analysis of the chemical representations in

- secondary Lebanese chemistry textbooks. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15 (5), 797–816.
- Silva, A. C. T. & Mortimer, E. F. (2010). Caracterizando estratégias enunciativas em uma sala de aula de química: Aspectos teóricos e metodológicos em direção à configuração de um gênero do discurso. *Investigações em Ensino de Ciências*, 15 (1), 121–153.
- Stefani, C. & Tsapalis, G. (2009). Students' levels of explanations, models, and misconceptions in basic quantum chemistry: A phenomenographic study. *Journal of Research in Science Teaching*, 46 (5), 520–536.
- Steiner, D. & Mendelovitch, M. (2017). "I'm the same teacher": The attitudes of science and computer literacy teachers regarding integrating ICT in instruction to advance meaningful learning. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13 (5), 1259–1282.
- Tro, N. J. (2015). *Chemistry: Structure and properties*. New Jersey, Pearson Education.
- Tuckman, B. (2012). *Manual de investigação em educação (4.<sup>a</sup> ed. atualizada)*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian.
- Wu, H.-K., Kuo, C.-Y., Jen, T.-H. & Hsu, Y.-S. (2015). What makes an item more difficult? Effects of modality and type of visual information in a computer-based assessment of scientific inquiry abilities. *Computers and Education*, 85, 35–48.
- Zhao, Y., Pugh, K., Sheldon, S. & Byers, J. L. (2002). Conditions for classroom technology innovations. *Teachers College Record*, 104 (3), 482–515.





## **ANEXOS**

## ANEXO A

### Solicitação de autorização de investigação ao CAp-Coluni



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA  
PRÓ-REITORIA DE ENSINO  
**COLÉGIO DE APLICAÇÃO - COLUNI**

---

*Campus Universitário – Viçosa, MG – 36570-000 – Telefone: (31) 3899 2663 - Fax: (31) 3899 2496 - E-mail: coluni@ufv.br*

---

### AUTORIZAÇÃO

Eu, Renata Pires Gonçalves, na qualidade de diretora do Colégio de Aplicação – CAp-COLUNI da Universidade Federal de Viçosa, autorizo a realização da pesquisa intitulada **AULAS VIRTUAIS SOBRE GASES PARA O ENSINO MÉDIO DE QUÍMICA: USO DE CICLOS DE INTERAÇÃO E MULTIRREPRESENTAÇÃO** a ser conduzida sob a responsabilidade do pesquisador Emerich Michel de Sousa, e declaro, que esta Instituição apresenta infraestrutura necessária à realização da referida pesquisa.

Viçosa, 13 de fevereiro de 2017.

---

Renata Pires Gonçalves  
Diretora CAp-COLUNI/UFV

---

## ANEXO B

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (ALUNO COM MAIORIDADE)

O Sr.(a) está sendo convidado(a) como voluntário(a) a participar da pesquisa **AULAS VIRTUAIS SOBRE GASES PARA O ENSINO MÉDIO DE QUÍMICA: USO DE CICLOS DE INTERAÇÃO E MULTIRREPRESENTAÇÃO**. Nesta pesquisa pretendemos esclarecer se o material de aprendizagem “Gases Reais”, no formato digital e com uso de ciclos de interação (C) e de multirrepresentação (M), possibilitaria ganhos de aprendizagem e aumento da competência representacional em alunos de química do ensino médio. O motivo que nos leva a estudar é a ausência de material de aprendizagem de química disponibilizado no ambiente virtual de aprendizagem (PVANet) utilizado pelo colégio. Para esta pesquisa, o voluntário apresentar-se-á nas dependências do CAP-COLUNI, em data e hora combinados com a equipe de apoio, e participará de:

um pré-teste: avaliação contendo 5 questões discursivas com duração estimada de 50 minutos;

uma intervenção: apresentação de uma aula sobre gases reais, no Laboratório de Informática, com duração estimada de 50 minutos;

um pós-teste: avaliação contendo 5 questões discursivas com duração estimada de 50 minutos.

Observação: o pré-teste e o pós-teste serão identificados pelos 4 últimos algarismos do celular do voluntário, garantindo a comparação entre as respostas mas preservando o anonimato do participante.

A pesquisa não apresenta riscos. O estudo contribuirá para o desenvolvimento de material instrucional que será oportunamente utilizado pelos alunos do Colégio.

Para participar deste estudo o Sr.(a) não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. O Sr.(a) tem garantida plena liberdade de recusar-se a participar ou retirar seu consentimento, em qualquer fase da pesquisa, sem necessidade de comunicado prévio. A sua participação é voluntária e a recusa em participar não acarretará qualquer penalidade ou modificação na forma em que o Sr.(a) é atendido(a) pelo pesquisador. Os resultados da pesquisa estarão à sua disposição quando finalizada. O(A) Sr.(a) não será identificado(a) em nenhuma publicação que possa resultar. Seu nome ou o material que indique sua participação não serão liberados sem a sua permissão.

Este termo de consentimento encontra-se impresso em duas vias originais, sendo que uma será arquivada pelo pesquisador responsável, na Universidade do Porto, Porto, Portugal e a outra será fornecida ao Sr.(a).

Os dados e instrumentos utilizados na pesquisa ficarão arquivados com o pesquisador responsável por um período de 5 (cinco) anos após o término da pesquisa, e depois desse tempo serão destruídos. Os pesquisadores tratarão a sua identidade com padrões profissionais de sigilo e confidencialidade, atendendo à legislação brasileira e utilizarão as informações somente para fins acadêmicos e científicos.

Eu, \_\_\_\_\_, contato de e-mail \_\_\_\_\_,

\_\_\_\_\_, fui informado(a) dos objetivos da pesquisa **AULAS VIRTUAIS SOBRE GASES PARA O ENSINO MÉDIO DE QUÍMICA: USO DE CICLOS DE INTERAÇÃO E MULTIRREPRESENTAÇÃO** de maneira clara e detalhada, e esclareci minhas dúvidas. Sei que a qualquer momento poderei solicitar novas informações e modificar minha decisão de participar se assim o desejar. Declaro que concordo em participar. Recebi uma via original deste termo de consentimento livre e esclarecido e me foi dada a oportunidade de ler e esclarecer minhas dúvidas.

Emerich Michel de Sousa  
up201409981@fc.up.pt  
Faculdade de Ciências/Universidade do Porto  
Rua de Campo Alegre, 1021/1055 – 4169-007, Porto, Portugal

Viçosa, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2017.

---

Participante

---

Emerich Michel de Sousa

---

## ANEXO C

### TERMO DE ASSENTIMENTO

Você está sendo convidado(a) como voluntário(a) a participar da pesquisa **AULAS VIRTUAIS SOBRE GASES PARA O ENSINO MÉDIO DE QUÍMICA: USO DE CICLOS DE INTERAÇÃO E MULTIRREPRESENTAÇÃO**. Nesta pesquisa pretendemos esclarecer se o material de aprendizagem “Gases Reais”, no formato digital e com uso de ciclos de interação e de multirrepresentação, possibilitaria ganhos de aprendizagem e aumento da competência representacional em alunos de química do ensino médio. O motivo que nos leva a estudar é a ausência de material de aprendizagem de química disponibilizado no ambiente virtual de aprendizagem (PVANet) utilizado pelo colégio. Para esta pesquisa, o voluntário apresentar-se-á nas dependências do CAP-COLUNI, em data e hora combinados com a equipe de apoio, e participará de:

um pré-teste: avaliação contendo 5 questões discursivas com duração estimada de 50 minutos;

uma intervenção: apresentação de uma aula sobre gases reais, no Laboratório de Informática, com duração estimada de 50 minutos;

um pós-teste: avaliação contendo 5 questões discursivas com duração estimada de 50 minutos.

Observação: o pré-teste e o pós-teste serão identificados pelos 4 últimos algarismos do celular do voluntário, garantindo a comparação entre as respostas mas preservando o anonimato do participante.

A pesquisa não apresenta riscos. O estudo contribuirá para o desenvolvimento de material instrucional que será oportunamente utilizado pelos alunos do Colégio.

Para participar deste estudo, seu responsável legal deverá autorizar e assinar um termo de consentimento. Você não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. O Sr.(a) tem garantida plena liberdade de recusar-se a participar ou retirar seu consentimento, em qualquer fase da pesquisa, sem necessidade de comunicado prévio. A sua participação é voluntária e a recusa em participar não acarretará qualquer penalidade ou modificação na forma em que você é atendido(a) pelo pesquisador. Os resultados da pesquisa estarão à sua disposição quando finalizada. Você não será identificado(a) em nenhuma publicação que possa resultar. Seu nome ou o material que indique sua participação não serão liberados sem a sua permissão.

Este termo de consentimento encontra-se impresso em duas vias originais, sendo que uma será arquivada pelo pesquisador responsável, na Universidade do Porto, Porto, Portugal e a outra será fornecida a você.

Os dados e instrumentos utilizados na pesquisa ficarão arquivados com o pesquisador responsável por um período de 5 (cinco) anos após o término da pesquisa, e depois desse tempo serão destruídos. Os pesquisadores tratarão a sua identidade com padrões profissionais de sigilo e confidencialidade, atendendo à legislação brasileira e utilizarão as informações somente para fins acadêmicos e científicos.

Eu, \_\_\_\_\_, contato de e-mail

\_\_\_\_\_, fui informado(a) dos objetivos da pesquisa **AULAS VIRTUAIS SOBRE GASES PARA O ENSINO MÉDIO DE QUÍMICA: USO DE CICLOS DE INTERAÇÃO E MULTIRREPRESENTAÇÃO** de maneira clara e detalhada, e esclareci minhas dúvidas. Sei que a qualquer momento poderei solicitar novas informações e o meu responsável legal poderá modificar sua decisão sobre minha participação se assim o desejar. Já assinado o termo de consentimento por meu responsável legal, declaro que concordo em participar desta pesquisa. Recebi uma via deste termo de assentimento e me foi dada a oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas.

Emerich Michel de Sousa  
up201409981@fc.up.pt  
Faculdade de Ciências/Universidade do Porto  
Rua de Campo Alegre, 1021/1055 – 4169-007, Porto, Portugal

Viçosa, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2017.

---

Participante

---

Emerich Michel de Sousa

---

## ANEXO D

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (RESPONSÁVEL)

O(A) participante \_\_\_\_\_, sob sua responsabilidade, está sendo convidado(a) como voluntário(a) a participar da pesquisa **AULAS VIRTUAIS SOBRE GASES PARA O ENSINO MÉDIO DE QUÍMICA: USO DE CICLOS DE INTERAÇÃO E MULTIRREPRESENTAÇÃO**. Nesta pesquisa pretendemos esclarecer se o material de aprendizado “Gases Reais”, no formato digital e com uso de ciclos de interação e de multirrepresentação, possibilitaria ganhos de aprendizagem e aumento da competência representacional em alunos de química do ensino médio. O motivo que nos leva a estudar é a ausência de material de aprendizado de química disponibilizado no ambiente virtual de aprendizagem (PVANet) utilizado pelo colégio. Para esta pesquisa, o voluntário apresentar-se-á nas dependências do CAP-COLUNI, em data e hora combinados com a equipe de apoio, e participará de:

um pré-teste: avaliação contendo 5 questões discursivas com duração estimada de 50 minutos;

uma intervenção: apresentação de uma aula sobre gases reais, no Laboratório de Informática, com duração estimada de 50 minutos;

um pós-teste: avaliação contendo 5 questões discursivas com duração estimada de 50 minutos.

Observação: o pré-teste e o pós-teste serão identificados pelos 4 últimos algarismos do celular do voluntário, garantindo a comparação entre as respostas mas preservando o anonimato do participante.

A pesquisa não apresenta riscos. O estudo contribuirá para o desenvolvimento de material instrucional que será oportunamente utilizado pelos alunos do Colégio.

Para participar deste estudo, o voluntário sob sua responsabilidade, não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. O(A) participante tem garantida plena liberdade de recusar-se a participar ou o(a) Sr.(a) de retirar seu consentimento e interromper a participação do voluntário sob sua responsabilidade, em qualquer fase da pesquisa, sem necessidade de comunicado prévio. A participação dele(a) é voluntária e a recusa em participar não acarretará qualquer penalidade ou modificação na forma em que é atendido(a) pelo pesquisador. Os resultados da pesquisa estarão à sua disposição e do participante quando finalizada. O(A) participante não será identificado(a) em nenhuma publicação que possa resultar. O nome ou o material que indique a participação do voluntário não serão liberados sem a sua permissão.

Este termo de consentimento encontra-se impresso em duas vias originais, sendo que uma será arquivada pelo pesquisador responsável, na Universidade do Porto, Porto, Portugal e a outra será fornecida ao Sr.(a).

Os dados e instrumentos utilizados na pesquisa ficarão arquivados com o pesquisador responsável por um período de 5 (cinco) anos após o término da pesquisa, e depois desse tempo serão destruídos. Os pesquisadores tratarão a sua identidade com padrões profissionais de sigilo e confidencialidade, atendendo à legislação brasileira e utilizarão as informações somente para fins acadêmicos e científicos.

Eu, \_\_\_\_\_, contato de e-mail \_\_\_\_\_,

\_\_\_\_\_, responsável pelo participante \_\_\_\_\_,

\_\_\_\_\_, fui informado(a) dos objetivos da pesquisa **AULAS VIRTUAIS SOBRE GASES PARA O ENSINO MÉDIO DE QUÍMICA: USO DE CICLOS DE INTERAÇÃO E MULTIRREPRESENTAÇÃO** de maneira clara e detalhada, e esclareci minhas dúvidas. Sei que a qualquer momento poderei solicitar novas informações e modificar minha decisão se assim o desejar. Recebi uma via original deste termo de consentimento livre e esclarecido e me foi dada a oportunidade de ler e esclarecer minhas dúvidas.

Emerich Michel de Sousa  
up201409981@fc.up.pt  
Faculdade de Ciências/Universidade do Porto  
Rua de Campo Alegre, 1021/1055 – 4169-007, Porto, Portugal

Viçosa, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2017.

---

Responsável Legal pelo Participante

Emerich Michel de Sousa

## ANEXO E

## Avaliação utilizada no pré-teste e pós-teste

--	--	--



**PD-EDC / ENSINO DE CIÊNCIAS**  
**TESE: Aula virtual sobre gases para o Ensino Médio de Química:**  
**Uso de ciclos de interação e multirrepresentação**

Obrigado por você participar desse projeto! O presente estudo insere-se no Programa de Doutorado de Ensino e Divulgação das Ciências, da Faculdade de Ciências/Universidade do Porto. Serão apresentadas algumas questões relativas ao assunto dos gases. Pedimos que você tente responder a todos os questionamentos, sua colaboração é valiosa!

Para efeito de comparação entre o 1º e o 2º testes, pedimos que identifique os 4 últimos algarismos de seu celular:

--	--	--	--

01. Utilize as palavras que julgar mais convenientes e proponha uma definição de gás.

ocupar	líquido	compressibilidade	armazenado	contido	substância
maleabilidade	volume	ductibilidade	espaço	fluido	expansibilidade

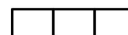
02. O modelo físico de um gás perfeito fundamenta-se nas seguintes hipóteses:

1. O gás é formado por um grande número de partículas (moléculas ou átomos) que se movem permanentemente no espaço de forma desordenada (caótica);
2. As dimensões das partículas são muito pequenas e desprezíveis quando comparadas com as distâncias entre elas e com o tamanho do recipiente;
3. As partículas não exercem entre si forças apreciáveis (nem repulsivas, nem atrativas);
4. As colisões entre partículas ou entre as partículas e as paredes do vaso são perfeitamente elásticas, *i.e.*, nos choques há conservação da energia cinética e do momento linear (ou quantidade de movimento).

Um gás real, no entanto, diferencia-se do ideal em duas dessas proposições.

a) Cite as proposições: \_\_\_\_\_ e \_\_\_\_\_

b) Explique essas diferenças. Se julgar conveniente, poderá, além do texto, utilizar desenhos, esquemas, fórmulas matemáticas, gráficos e representações químicas.

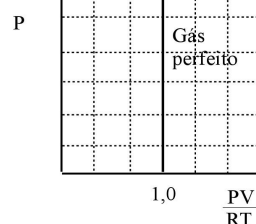


**03.** Por que o comportamento de um gás real se aproxima ao do gás perfeito, quando submetido a baixas pressões e elevadas temperaturas? Se julgar conveniente, poderá, além do texto, utilizar desenhos, esquemas, fórmulas matemáticas, gráficos e representações químicas.

**04.** Quando estudamos as forças intermoleculares atuantes nos gases reais, julgamos que as interações entre pares (2 moléculas) são mais importantes do que entre trios (3 moléculas), que por sua vez, são mais importantes do que entre quartetos (4 moléculas), e assim por diante. Explique o porquê de se adotar este critério. Se julgar conveniente, poderá, além do texto, utilizar desenhos, esquemas, fórmulas matemáticas, gráficos e representações químicas.

**05.** A relação  $PV/RT$ , para 1 mol de gás perfeito, é sempre igual a 1. Podemos, então, representar em um gráfico da seguinte maneira (Figura 1):

Figura 1



Para a maioria dos gases reais, quando submetidos a baixas pressões, a relação  $PV/RT$  é menor que 1, pois verifica-se que ocorre diminuição da pressão real do gás e do volume por ele ocupado. Quando submetidos a altas pressões, a relação é maior que 1, devido ao aumento da pressão real do gás e do volume por ele ocupado. O gás hidrogênio ( $H_2$ ), por ter moléculas muito pequenas, apresenta sempre a relação com valor maior que 1.

- Represente com uma linha cheia, no gráfico anterior (Figura 1), a variação da relação  $PV/RT$  para o gás hidrogênio.
- Represente com uma linha tracejada, no mesmo gráfico (Figura 1), a variação da relação  $PV/RT$  para a maioria dos gases reais.

## ANEXO F

## Guia de avaliação original em inglês

TEXT PRODUCTION (TPS)	All(3)	Most(2)	Some(1)	None(0)
Grammatically Correct	_____	_____	_____	_____
Accurate	_____	_____	_____	_____
Covered Required Topics	_____	_____	_____	_____
Completeness	_____	_____	_____	_____
<b>TP SCORE</b> _____				

<b>MODAL REPRESENTATIONS (MRS)</b>	
Number of DIFFERENT Mode Types Used (other than text)	_____ (a)
_____ Picture _____ Graph _____ Table _____ List _____ Diagram _____ Math	
Number of TOTAL Modal Representations	_____ (b)
Number of INAPPROPRIATE Representations	_____ (c)
Number of TOPICS Related to Modal Representations	_____ (d)
<b>MR SCORE = (b - c) + a + d =</b> _____	

<b>AVERAGE EMBEDDEDNESS SCORE (AES):</b>	
KEY: (N) = Next to Text (R) = Referred to in text (A) = Accurate	
(C) = Complete (CA) = Caption (O) = Original	
1) TYPE _____	
N _____ R _____ A _____ C _____ CA _____ O _____	TOTAL _____
2) TYPE _____	
N _____ R _____ A _____ C _____ CA _____ O _____	TOTAL _____
3) TYPE _____	
N _____ R _____ A _____ C _____ CA _____ O _____	TOTAL _____
TOTAL EMBEDDEDNESS SCORE _____ # of MODES _____ AES: _____	
EMBEDDEDNESS INDEX (EI) = TP _____ + MR _____ + AES: _____ = <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 50px; height: 20px; vertical-align: middle;"></span>	



## ANEXO G

### Guia adaptado para coleta dos resultados da correção do pré-teste e pós-teste

Características	Questão					Pontuação final
	01	02	03	04	05	
Obrigatoriedade						média
Correção Gramatical						média
Exatidão						média
Compleitude						média

$$\text{PPT} = \Sigma \text{ médias}$$

Modos não-texto

I \_\_\_ Imagem / G \_\_\_ Gráfico / T \_\_\_ Tabela / L \_\_\_ Lista / D \_\_\_ Diagrama / F \_\_\_ Fórmula

Questão			
01	02	03	04

Número modos não-texto \_\_\_\_\_ (a)

Número total de modos \_\_\_\_\_ (b)

Número inapropriadas \_\_\_\_\_ (c)

Número de respostas não-texto \_\_\_\_\_ (d)

$$\text{PMR} = (b - c) + a + d = \underline{\hspace{2cm}}$$

(P) = Próximo ao texto / (R) = Referenciada no texto / (E) = Exata / (C) = Completa /

(L) = Com legenda / (O) = Original

1) Tipo \_\_\_\_\_ P \_\_\_ R \_\_\_ E \_\_\_ C \_\_\_ L \_\_\_ O \_\_\_

2) Tipo \_\_\_\_\_ P \_\_\_ R \_\_\_ E \_\_\_ C \_\_\_ L \_\_\_ O \_\_\_

3) Tipo \_\_\_\_\_ P \_\_\_ R \_\_\_ E \_\_\_ C \_\_\_ L \_\_\_ O \_\_\_

$$\text{PMI} = \frac{\text{pontuação total de incorporação}}{\text{total de modos}} = \underline{\hspace{2cm}} =$$

$$\text{Índice de incorporação (II)} = \text{PPT} \underline{\hspace{1cm}} + \text{PMR} \underline{\hspace{1cm}} + \text{PMI} \underline{\hspace{1cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

## ANEXO H

### Tabela de correlação rô de Spearman

		E/T1	C/T1	PPT/ T1	II/T1	E/T2	C/T2	PPT/T 2	II/T2
E/T1	Coef.de Correlação	1,000	,822**	,855**	,829**	,462**	,399**	,488**	,423**
	Sig. (bilateral)	.	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	153	153	153	153	153	153	153	153
C/T1	Coef.de Correlação	,822**	1,000	,884**	,859**	,444**	,455**	,489**	,449**
	Sig. (bilateral)	,000	.	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	153	153	153	153	153	153	153	153
PPT/ T1	Coef.de Correlação	,855**	,884**	1,000	,973**	,486**	,482**	,546**	,478**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	.	,000	,000	,000	,000	,000
	N	153	153	153	153	153	153	153	153
II/T1	Coef.de Correlação	,829**	,859**	,973**	1,000	,463**	,467**	,504**	,474**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	.	,000	,000	,000	,000
	N	153	153	153	153	153	153	153	153
E/T2	Coef.de Correlação	,462**	,444**	,486**	,463**	1,000	,846**	,918**	,841**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000	.	,000	,000	,000
	N	153	153	153	153	153	153	153	153
C/T2	Coef.de Correlação	,399**	,455**	,482**	,467**	,846**	1,000	,904**	,878**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000	,000	.	,000	,000
	N	153	153	153	153	153	153	153	153
PPT/ T2	Coef.de Correlação	,488**	,489**	,546**	,504**	,918**	,904**	1,000	,875**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	.	,000
	N	153	153	153	153	153	153	153	153
II/T2	Coef.de Correlação	,423**	,449**	,478**	,474**	,841**	,878**	,875**	1,000
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	.
	N	153	153	153	153	153	153	153	153

## ANEXO I

### Regressão linear

#### Sumarização do modelo<sup>b</sup>

<i>R</i>	<i>R</i> quadrado	<i>R</i> quadrado ajustado	Erro-padrão da estimativa
,653 <sup>a</sup>	,426	,422	,8605

a. Preditores: (Constante), PPT/T1

b. Variável Dependente: PPT/T2

#### ANOVA<sup>a</sup>

	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Regressão	83,061	1	83,061	112,175	,000 <sup>b</sup>
Resíduo	111,810	151	,740		
Total	194,871	152			

a. Variável Dependente: PPT/T2

b. Preditores: (Constante), PPT/T1

#### Coefficientes<sup>a</sup>

	Coefficientes não padronizados		Coefficientes padronizados	t	Sig.
	B	Erro-padrão	Beta		
(Constante)	3,408	,477		7,141	,000
PPT/T1	,648	,061	,653	10,591	,000

a. Variável Dependente: PPT/T2

#### Sumarização do modelo<sup>b</sup>

<i>R</i>	<i>R</i> quadrado	<i>R</i> quadrado ajustado	Erro-padrão da estimativa
,424 <sup>a</sup>	,180	,174	,86050

a. Preditores: (Constante), PPT/T1

b. Variável Dependente: PPT/T2 - PPT/T1

**ANOVA<sup>a</sup>**

	Soma dos Quadrados	gl	Quadrado Médio	F	Sig.
Regressão	24,509	1	24,509	33,100	,000 <sup>b</sup>
Resíduo	111,810	151	,740		
Total	136,319	152			

a. Variável Dependente: PPT/T2 - PPT/T1

b. Preditores: (Constante), PPT/T1

**Coefficientes<sup>a</sup>**

	Coeficientes não padronizados		Coeficientes padronizados	t	Sig.
	B	Erro-padrão	Beta		
(Constante)	3,408	,477		7,141	,000
PPT/T1	-,352	,061	-,424	-5,753	,000

a. Variável Dependente: PPT/T2 - PPT/T1